

**GOLIARDO TOMASSETTI**

**RADIOASTRONOMIA DIDATTICA  
ED AMATORIALE**

**IRA 270198**

## RADIOASTRONOMIA DIDATTICA ED AMATORIALE

Prefazione

### 1- RADIOASTRONOMIA SULLE VHF

#### 1-1 RICEVITORE "TOTAL POWER"

- 1-1-a) Introduzione
- 1-1-b) Antenna e linea di trasmissione
- 1-1-c) Il ricevitore AM
- 1-1-d) L'amplificatore d.c. e integratore
- 1-1-e) La presentazione del segnale d'uscita (display)

#### 1-2 RICEVITORE INTERFEROMETRICO SOMMA

- 1-2-a) Il sommatore
- 1-2-b) Le radio-osservazioni

#### 1-3 RICEVITORE INTERFEROMETRICO A COMMUTAZIONE DI FASE

- 1-3-a) Il ricevitore
- 1-3-b) Lo sfasatore commutabile a 180 gradi
- 1-3-c) Il preamplificatore a.c. ed il rivelatore sincrono
- 1-3-d) La logica di comando
- 1-3-e) Taratura di (1-3-c)
- 1-3-f) Amplificatore d.c. e integratore
- 1-3-g) Le radio-osservazioni

### 2- RADIOASTRONOMIA AMATORIALE SULLE MICROONDE

- 2-a) Introduzione
- 2-b) Antenna e cavalletto
- 2-c) L'illuminatore + LNB
- 2-d) Il filtro passa-alto
- 2-e) Amplificatori di linea
- 2-f) Divisori di potenza (splitters)
- 2-g) Il rivelatore AM (detector AM)

#### 2-1 RICEVITORI "TOTAL POWER" PER MICROONDE

- 2-1-a) Introduzione

#### 2-1-1 IL PIU'SEMPLICE RICEVITORE PER RADIOASTRONOMIA DIDATTICA ED AMATORIALE

#### 2-1-2 RICEVITORE "TOTAL POWER" SELETTIVO

#### 2-2 RADIOMETRO SPERIMENTALE (DICKE RECEIVER)

2-3 INTERFEROMETRO SOMMA

- 2-3-a) Aspetti generali
- 2-3-b) Il ricevitore
- 2-3-c) Le radio osservazioni

2-4 INTERFEROMETRO A PRODOTTO

- 2-4-a) Aspetti generali
- 2-4-b) Il ricevitore
- 2-4-c) Le radio osservazioni

3- BIBLIOGRAFIA

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio il Prof. G.Grueff ed il Dott. R.Ambrosini per la lettura del Rapporto e per gli utili suggerimenti. L'Ing. A.Gallerani ed il Prof. G.Grueff sono citati nel testo a proposito dei files SOLE.BAS e SOLESID.BAS. Patrizia Braschi ha sistemato con professionalita' l'aspetto grafico del testo. A Lei la mia riconoscenza.

## PREFAZIONE

Tra le incombenze dei ricercatori dell' IRA vi e' quella di assistere gruppi di ospiti durante le Visite Guidate agli impianti radioastronomici di Medicina. I miei ospiti sono di solito astrofili, radioamatori e studenti di varia estrazione, particolarmente sensibili al fascino delle due grandi antenne puntate verso il cielo. Sarebbe un peccato non soddisfare la loro legittima curiosita' anche in ottemperanza alla politica del nostro Istituto che e' sempre stata di massima apertura verso la Scuola, le Associazioni e le Istituzioni culturali.

Un piccolo inconveniente e' costituito dal fatto che quasi sempre i miei ospiti sono disponibili per le visite solo di Sabato o Domenica, quando non e' prevista la nostra presenza a Medicina ma la diffusione della scienza val bene qualche nostro sacrificio!

Dopo la mia breve lezione introduttiva mi vengono spesso rivolte domande relative ad avvistamento di UFO, ricezione di messaggi da altri mondi, la frequenza a cui trasmettono le stelle ecc. le cui risposte suonano spesso deludenti per le aspettative del proponente ma non e' raro riscontrare anche un vero interesse per gli aspetti piu' marcatamente scientifici e tecnici della radioastronomia. Ad esempio spesso ricorrono le domande: e' possibile costruire un radiotelescopio e se si, quanto e' grande, quanto costa e, soprattutto, cosa si riceve?

E' rilevante poi citare il grande interesse mostrato da alcuni nostri colleghi che insegnano Radioastronomia o materie affini nelle Universita', sulla utilita' della eventuale costruzione ed uso di un piccolo impianto didattico, per una possibile verifica pratica di molti dei principi base insegnati in aula.

Non a caso impianti didattici per studenti universitari sono stati costruiti a Trento, Bonn e negli Stati Uniti come si verifichera' nella bibliografia. Un impianto e' in via di realizzazione a cura del Dipartimento di Fisica della Universita' di Ferrara.

Questo rapporto tecnico, descrivendo le esperienze fatte nella radioastronomia amatoriale e didattica all' interno dell' Area della Ricerca del CNR di Bologna, mette a disposizione del lettore tutta una serie di soluzioni pratiche gia' collaudate che potrebbero dare una prima risposta alle domande di cui si diceva.

Colgo questa occasione per esprimere anche una mia personale opinione nata da constatazioni protrattesi nel tempo relative ai molti laureandi permanentemente "attaccati" ai PC qui a Bologna ma pochi attivi nei laboratori di Medicina. La mia sensazione, dunque, magari esagerando un po', e' che, per il laureando medio, il radiotelescopio sia costituito fundamentalmente da una tastiera e da un PC!

Non e' troppo pretendere dai futuri radioastronomi, oltre alla sacrosanta abilita' a far girare i mega programmi di riduzione dati, anche una certa dimestichezza con i laboratori di elettronica ove, ad esempio, si progettano e si fanno funzionare i ricevitori e le antenne. Anche il progetto e la gestione personale di un radiotelescopio amatoriale come quelli che verranno qui descritti, potrebbe risultare altamente istruttivo perche' e' richiesta quella interazione con uno strumento che non gli sara' piu' concesso di avere quando, ormai laureato, dovra' attenersi alle rigide schedulazioni del grande impianto in cui avra' potuto inserirsi ma alle consolidate e rigide condizioni operative ivi vigenti.

Da quanto e' stato detto finora si arguisce che un piccolo radiotelescopio in grado di ricevere alcune radiosorgenti (non lontane come numero da quelle osservate da Reber alla fine degli anni '30!) e' sicuramente costruibile amatorialmente. Bisogna ora rispondere alla domanda relativa alle sue dimensioni fisiche, determinate essenzialmente da quelle della antenna che si decidera' di adottare.

Uno strumento didattico dovra' poter essere alloggiato in un laboratorio durante la sua costruzione e collaudo e poi su una terrazza o su un tetto durante le osservazioni del radio-cielo. Senza trascurare le occasioni di un suo eventuale trasporto su un portapacchi di una automobile per non improbabili dimostrazioni all'esterno, presso scuole o siti di divulgazione scientifica (mi e' gia' successo diverse volte).

L' esigenza di limitare le dimensioni fisiche contrasta decisamente con quanto sarebbe invece richiesto per fare una piu' efficace radioastronomia che, per il debole flusso della emissione delle radio-sorgenti, richiederebbe invece la esposizione alla radiazione di antenne di grandi dimensioni (grande area di cattura).

In Fig. 1 sono mostrate le piu' potenti radio-sorgenti a disposizione del radio astronomo nel nostro emisfero. Se poniamo a circa 10000 unita' di flusso (F.U.) la soglia dell'osservabile con una piccola antenna con una prevedibile area di cattura piu' vicina ad 1 mq che a 10 mq e con le temperature di rumore "commerciali" disponibili, ci rendiamo subito conto che:

- sulle microonde, oltre i 10 GHz, gli unici candidati sono il SOLE e la LUNA, note ed ovvie sorgenti "termiche". Anticipo che malgrado la ottima sensibilita' ottenibile su queste bande, grazie soprattutto ai ridotti segnali interferenti, Cas A, Crab ed Orione non sono mai state ricevute. Lo spettro molto ripido del Cigno lo rende totalmente al di fuori delle nostre possibilita'.
- sulle VHF, attorno ai 150 MHz, oltre al centro galattico, scomodo per la sua bassa elevazione, ed al SOLE, buone possibilita' sussistono per rivelare CAS A ed il CIGNO, proprio per la natura della loro emissione di sincrotrone che e' massima alle frequenze piu' basse. La Luna, sfortunatamente, non e' piu' osservabile a queste frequenze.

Per chi disponga di terrazzini o ambienti molto ridotti non ci sono alternative alla scelta delle microonde. Un ricevitore per il continuo e due interferometri operanti a 12 GHz verranno descritti piu'avanti.

Un grande terrazzo o un bel prato favoriranno l'uso delle VHF con antenne Yagi disposte per la ricezione in "total power" o ad interferometro come vedremo ma il problema piu' grande sara' costituito dalla ricerca di una frequenza su cui non siano attive emittenti terrestri.

Purtroppo una piccola antenna ha anche modesta direttivita' per cui la probabilita' di ricevere radio-segnali interferenti diventa molto grande.

Le bande VHF candidate al nostro uso sono poche e comunque superiori ai 30-40 MHz per evitare il blocco ionosferico. Particolarmente interessanti risultano le bande amatoriali dei 6 m, dei 2 m o dei 70 cm perche' il mercato offre su queste bande tutta una serie di antenne efficienti ed economiche, oltre ad apparati, anche surplus, utilizzabili con poche modifiche.

Alcuni settori delle bande amatoriali non sono permanentemente occupati per cui una scelta oculata puo' permetterne l'uso, specie notturno.

Un'altra banda che potrebbe risultare interessante è quella riservata al traffico aereo tra 108 e 137 MHz (non tutti i canali di comunicazione sono sempre attivi!) ma non risulta esistano antenne commerciali subito disponibili in questo settore.

Per fare le osservazioni VHF descritte in questo rapporto, ho scelto di sintonizzarmi nella sottobanda "satelliti" dei 2 metri riservata ai radio-amatori che risulta meno frequentata rispetto ad altri settori.

Malgrado questa scelta ho dovuto limitare la banda passante del ricevitore a 30 (ma poi 15) KHz ponendo così gravi limiti alla sua sensibilità radioastronomica che, come noto, dipende anche da questo parametro.

Le antenne commerciali Yagi a 11 elementi che ho utilizzato, pur modeste come prestazioni (fascio a -3 dB di circa 40 gradi!), risultano economiche, leggere e subito reperibili. Un problema può essere costituito dalla loro lunghezza che supera i 4 m.

Ciò premesso, confermo che la ricezione di alcune radiosorgenti sulle VHF è perfettamente possibile come dimostrano le registrazioni allegate.

Un capitolo a parte merita la possibilità di "ascoltare" Giove che, stando a Fig.1, può avvenire sulle HF (Onde Corte e Onde Cortissime) ove si comporta come emittente di sincrotrone con spettro molto ripido.

Il ricevitore e l'antenna Yagi a 3 elementi costruita "ad hoc" per rivelare la sua emissione a 25.7 MHz, sono descritti nel Rapporto Interno IRA 192/94 a cui gli interessati potranno fare riferimento. Sottolineo il positivo ascolto della emissione gioviana anche in occasione dell'impatto con Giove della cometa Shoemaker-Levy nel 1994.

Per gli interessati informo che esistono programmi per PC da cui ricavare effemeridi e previsioni giornaliere sui tempi e sui modi in cui avvengono tali emissioni. Non è invece pensabile di osservare Giove con i sistemi che descriverò in questo rapporto: Giove termico (cfr.fig.1) si presenta con una cinquantina di F.U. a 10 GHz, troppo poco per un impianto modesto, mentre la sua emissione di plasma risulta praticamente nulla sui due metri a cui operano le nostre antenne Yagi.

Segue la descrizione del mio lavoro sperimentale che si è protratto per alcuni anni nelle mura della attività istituzionale presso l'IRA.

Sono state escogitate soluzioni tecniche originali che non mancherò di sottolineare all'atto della specifica descrizione.

Non mi sono preoccupato di ottimizzare la ricezione delle radio sorgenti o di misurarne accuratamente la intensità o altri parametri come il periodo delle frange di interferenza, incombenze didattiche che potrà sviluppare e proporre l'eventuale insegnante.

La mia preoccupazione è stata quella di realizzare strumenti duplicabili anche da persone non particolarmente attrezzate tecnicamente, utilizzando componenti quasi sempre disponibili sul mercato a prezzi accessibili.

## 1- RADIOASTRONOMIA SULLE VHF

Osservando fig. 1 saremmo tentati di costruire il nostro impianto a frequenze molto basse alle quali maggiori sono le probabilità di ricevere alcune note radiosorgenti come CASSIOPEA, il CIGNO e magari anche la CRAB, la VIRGO oltre, ovviamente, al SOLE.

Avendo ben chiaro che al di sotto dei 30 o 40 MHz solo raramente si potrà ricevere radiazione celeste a causa della barriera della ionosfera, ci si dovrà orientare, per le ragioni prima esposte e cioè la presenza di segnali interferenti e la reperibilità dei componenti a prezzi ragionevoli, ad alcuni settori dello spettro ben delimitati. Ci siamo inoltre imposti di non superare certi limiti nelle dimensioni delle antenne per cui la prima banda a cui potremmo dedicarci è quella amatoriale dei 6 metri (da 50 a 51 MHz) in cui non è troppo difficile trovare qualche "fettina" libera da traffico.

Antenne Yagi a 5 elementi per questa banda sono reperibili in ogni grande città ove si vendono apparati per il traffico radio-amatoriale. Il loro guadagno isotropico dichiarato è di 10 dB con un fascio principale di 56 gradi sul piano E e 70 gradi in H. L'area efficace di tale antenna vale quasi 30mq il che dovrebbe permettere una comoda ricezione delle radiosorgenti menzionate in precedenza anche se la scadente risoluzione angolare creerà non pochi problemi nella loro identificazione.

Vedremo che, usando un interferometro, tali problemi potranno considerarsi risolti ma le due antenne costituenti, per un efficace funzionamento, dovranno essere poste a distanze dell'ordine dei 20 lambda tra loro e cioè a più di 100 m, creando insormontabili complicazioni pratiche.

L'altra banda su cui probabilmente sarebbe possibile ricevere senza troppe difficoltà è quella riservata al traffico aereo che si estende da 108 a 137 MHz. Qualche canale libero o poco usato è sicuramente disponibile specie in città senza aeroporti ma il problema più grave è probabilmente costituito dalla adiacente banda di radiodiffusione FM che, con emissioni spurie ed altissimi livelli di potenza irradiati, tenderà a saturare il ricevitore radioastronomico. Essendo questa banda "proibita" al traffico normale, il mercato non offre nulla di utilizzabile per le nostre esigenze pertanto solo esperti costruttori potranno pensare di usarla a fini radioastronomici.

La banda successiva a cui rivolgere la nostra attenzione è quella dei 2 metri, molto popolare tra i radio-amatori che ne utilizzano, per comunicazioni radio, solo una parte. Il settore "satelliti" da 145.800 a 146.000 MHz è usato, almeno teoricamente, per il solo ascolto per cui, a parte qualche invasione pirata, non è difficile trovarvi il canale libero e disponibile. I vantaggi offerti da questa banda sono diversi tra cui la facile reperibilità di antenne Yagi, la dimensione accettabile delle stesse e la possibilità di acquistare ricevitori e convertitori facilmente adattabili all'uso radioastronomico.

Anche la banda radioastronomica 406-410 MHz, o la banda amatoriale 432-436 MHz, pur non essendo più VHF, potrebbero costituire valide alternative. Non sono state scelte per il minor flusso delle radiosorgenti ma anche per la minor reperibilità dei componenti e il loro maggior costo.

Non trascurabile il fatto che per avere una ragionevole area di cattura sarebbe stato necessario collegare almeno due in parallelo in ogni potazione, complicando inevitabilmente la installazione sia meccanicamente che elettricamente.

La strumentazione e le radio-osservazioni che verranno descritte in questo capitolo prefigurano pertanto l'uso della banda 2 metri riservata all'uso radio-amatoriale. La radioastronomia, essendo un Servizio di solo ascolto, non provoca interferenze ad altri Servizi pertanto non ci si dovrà preoccupare della eventuale concomitante presenza in banda dei legittimi occupanti perché chi risulta danneggiato e non potrà protestare è comunque il radioastronomo.

Quali sono dunque "le cose" necessarie da acquisire per disporre di un radiotelescopio VHF di amatore?

Sottolineo subito che tutti i radiotelescopi, a partire da quelli piu' semplici e modesti che verranno da noi descritti, sono necessariamente costituiti da:

- a) antenna e linea di trasmissione;
- b) ricevitore con uscita rivelata in corrente continua (c.c.) (l'ascolto in altoparlante e' una utile opzione);
- c) registratore dell'uscita (si puo' usare un semplice milliamperometro, un registratore a carta, fino ad un semplice sistema di acquisizione dati sotto controllo di un PC.

Per ogni tipo di ricezione che verra' proposto, suggeriro' se e come a), b) e c) dovranno essere diversificati. Premetto che molti costituenti risulteranno sempre gli stessi come ad esempio il registratore d'uscita che nel nostro caso e' costituito da un PC con una scheda di interfaccia ADC gestita da un programma scritto in Quick Basic. Questa soluzione non e' la piu' vantaggiosa dal punto di vista economico ma sicuramente e' quella piu' pratica ed efficace, specie dal punto di vista dello sperimentatore che puo' interagire con il programma, aggiornando lo o modificandolo a piacere.

## 1-1- RICEVITORE "TOTAL POWER"

### 1-1-a) Introduzione

Il ricevitore "total power" costituisce la configurazione base che realizza il primo approccio con la ricezione radioastronomica ed i suoi costituenti essenziali sono schematizzati a blocchi in fig.2. La tecnica osservativa iniziale e' molto semplice : orientando manualmente l' antenna in direzione della radiorgente, si deve avere un immediato balzo in avanti dell' indicatore d' uscita.

Risulta di solito piu' spettacolare puntare l'antenna nella direzione ove la sorgente si trovera' dopo un certo tempo. In questo modo si registrera' il suo passaggio attraverso il fascio d'antenna che, con le antenne che adopereremo, potra' protarsi per alcune ore.

Una ideale risposta "total power" al passaggio di una radiosorgente davanti all'antenna e quella mostrata in fig.R1 . Le occasionali righe continue verticali sono provocate da scariche elettriche o interferenze.

Se il sistema ricevente fosse "calibrato", dalla ampiezza della risposta in ordinata si puo' ricavare il flusso della radiosorgente mentre dalla forma del tracciato e dal tempo di transito misurabile in ascissa si potranno ricavare utili informazioni sulla qualita'dell'antenna ricevente.

L'interpretazione di una risposta come quella di fig.R2 e' meno evidente.

In questo caso una singola antenna Yagi e' puntata verso il CIGNO alla sua culminazione ma la sua identificazione risulta pressocche' impossibile perche' "sommerso" dal rumore delle interferenze e della Galassia di cui si evidenzia agevolmente il transito. Le rapide

variazioni di ampiezza ed i salti di livello variamente distribuiti sono provocati da segnali interferenti, molto forti in Via Gobetti a Bologna, alle 19.30 locali.  
Segue la descrizione con qualche dettaglio della strumentazione indicata in fig.2, usata per ottenere le prime radiosorgenti.

### 1-1-b) Antenna e linea di trasmissione

Come già detto, l'antenna usata per questi esperimenti è una comune Yagi per radioamatori, nota come 11FR, reperibile facilmente nei negozi per telecomunicazioni. La Ditta costruttrice, per adattare l'impedenza di 200 ohm bilanciati del dipolo radiatore ai 50 ohm sbilanciati dei comuni cavi coassiali utilizzati per il collegamento, fornisce un semplice "balun" induttivo, installato direttamente sui terminali del dipolo, all'interno di un contenitore di plastica. Per antica consuetudine i balun da me preferiti sono costituiti da uno spezzone di cavo coassiale lungo mezza lunghezza d'onda che, collegato opportunamente, realizza la stessa funzione di bilanciamento-adattamento di impedenza. I vantaggi della mia soluzione sono ovvi quando l'antenna sia usata in trasmissione con alte potenze. In ricezione, come nel nostro caso, concordo nel ritenere inutile la modifica. Antenne dello stesso tipo, prodotte da altre Aziende, possono risultare già predisposte con uscita in connettore coassiale a 50 ohm e possono anche non essere Yagi a 11 elementi. Sono note le F9FT a 9, 11 e 17 elementi. Disponendo di spazio, quest'ultima è molto consigliata ma attenzione alla sua lunghezza che supera i 6 metri. Il fascio d'antenna quotato in quest'ultimo tipo vale 33 gradi sul piano E e 36 gradi sul piano H con un guadagno isotropico di 15.3 dBi.

La linea di trasmissione che collega l'antenna al ricevitore è costituita da cavo coassiale RG8, di lunghezza molto breve per limitare le perdite di inserzione ad 1 o 2 dB massimi.

### 1-1-c) Il ricevitore AM

È difficile suggerire quale sia il ricevitore ideale per fare radioastronomia sulle VHF perché fortemente dipendente da situazioni locali e di reperibilità di componentistica elettronica e meccanica.

Alcune specifiche si possono però fissare:

- 1- dovrà essere a transistor. I vecchi ricevitori surplus a valvole non sono sufficientemente stabili come guadagno;
- 2- dovrà avere una buona sensibilità: l'ordine di grandezza della cifra di rumore (NF) idonea è di 3 dB;
- 3- dovrà avere una banda passante di media frequenza non troppo stretta e idealmente variabile con comando esterno;

- 4- dovra' poter ricevere emissioni a modulazione di ampiezza(wide AM). Ricevitori per SSB e CW non sono utilizzabili perche' a banda troppo stretta e quelli FM perche' sprovvisti di rivelatore AM;
- 5- dovra' avere il controllo automatico di guadagno (AGC) escludibile;
- 6- non si richiede un'alta stabilita' di frequenza perche' le radiosorgenti emettono con spettro continuo pertanto non e' necessario sintonizzarle con precisione. La sintonia variabile e' invece utile per selezionare un canale libero da interferenze;
- 7- da esso si dovra' poter estrarre la tensione d.c. disponibile ai capi del diodo rivelatore per AM.

Una soluzione classica potrebbe essere quella di acquistare uno di quei ricevitore semi-professionali, anche usati, che di solito coprono le H.F. fino a 30 MHz e farlo precedere da un "converter" 144-30 MHz molto in auge tra i radioamatori negli anni passati e che non dovrebbe essere troppo difficile da reperire in negozi specializzati o nei frequenti "mercatini" dell'usato tecnico.

La mia soluzione al problema del ricevitore e' stata quella di costruirlo utilizzando componenti discreti come FET , transistors, filtri ecc. disponibili nei negozi specializzati a buon prezzo. Lo schema di base a blocchi del ricevitore e' mostrato in fig.3. Non potra' sfuggire la preoccupazione di ridurre la banda passante del ricevitore a giudicare dal numero di stadi con filtro, indicati nello schema.

Come gia'detto, il problema piu' grande, specie di giorno, e' proprio quello di ricevere segnali di provenienza terrestre. Una banda passante di 10-30 KHz costituisce un accettabile compromesso tra reiezione di segnali indesiderati e sensibilita' radioastronomica.

Inutile dire che chi ha la fortuna di abitare in zone in cui le VHF sono ancora relativamente "pulite" non esiti ad usare bande di media frequenza decisamente piu' ampie: l'impiego di filtri ceramici per FM larghi 250 KHz migliorerebbe la sensibilita' di un fattore 3.

Il ricevitore di fig.3 vede un primo filtro interposto fra antenna e "front end" per attenuare di circa 30 dB i fortissimi segnali di radiodiffusione presenti nella banda FM 88-108 MHz.

La reiezione del primo stadio del front-end che e' affidata ad un solo circuito risonante a 146 MHz, non e' infatti sufficiente ad eliminare da sola fenomeni di saturazione e intermodulazione di provenienza FM.

Il filtro "elimina banda FM" e' acquistabile nei soliti negozi di cui si e' gia' detto.

Per comodita' di taratura, gli stadi del ricevitore indicati nello schema a blocchi sono effettivamente montati in scatole metalliche TEKO indipendenti, munite di connettori coassiali per una facile interconnessione ed una ottima schermatura.

La scatola del front-end comprende lo stadio amplificatore a 146 MHz realizzato con un push-pull di FET tipo TIS 88 o 2N5245 ed un MOS dual gate 40673 che opera la conversione a 10.7 MHz, un comodo valore di media frequenza, come verificheremo presto.

Il guadagno complessivo di questo blocco e' di circa 24 dB.

Il contenitore dell'oscillatore locale (O.L.) fornisce alcuni mW di potenza al mixer alla frequenza di 135.3 MHz. La frequenza esatta potrebbe essere ottenuta usando un

quarzo opportunamente moltiplicato ma dato che non e' necessario ottenere la massima stabilita' della frequenza generata, si puo anche pensare all' uso di un semplice oscillatore L-C.

Io ho adoperato un sistema misto, quarzo fisso e oscillatore L-C che permette la ricerca del canale privo di interferenze attorno ai 146 MHz .

La scatola successiva contiene un filtro di recupero con una banda passante nominale di 30 KHz. La provenienza del filtro non e' nota ma suppongo possa essere stato usato in ponti radio militari o telefonici.

Tra il filtro, terminato sulle impedenze di carico che minimizzano il "ripple" in banda, ed i connettori di ingresso e uscita, sono interposti due transistor del tipo BFT96 che realizzano il "buffer" citato nello schema a blocchi. Il guadagno complessivo di questo stadio risulta di circa 20 dB.

Un contenitore TEKO di due unita', alloggia i due stadi amplificatori di media frequenza (ampl. I.F.), costituiti da due integrati ad accoppiamento R-C e quindi a banda larga. Per limitarne il rumore ho poi modificato il loro accoppiamento che ora avviene tramite un filtro ceramico per FM. Il guadagno e' regolabile agendo con una tensione c.c. sui piedini previsti per l'AGC che, in questo modo, viene disabilitato.

Una buona schermatura tra gli stadi e' necessaria per evitare possibili autooscillazioni favorite da un guadagno complessivo di oltre 70 dB.

Lo stadio successivo limita ulteriormente la banda passante a soli 15 KHz, sgradevole necessita' per chi pretende di fare radioastronomia in una grande citta', come lo scrivente. Un filtro a quarzi di ottima qualita' di produzione KVG, preceduto e seguito da due FET che agiscono come buffer-adattatori di impedenza, costituiscono il contenuto del penultimo contenitore TEKO mostrato in fig.3.

I due FET potranno essere scelti a piacere e sono stati usati invece di due bipolari per la loro superiore capacita' di non saturare agli alti valori del livello di rumore previsto in questo punto del circuito. Il guadagno di questo contenitore e' di circa 10 dB.

Segue la scatola contenente il rivelatore AM o detector (DETEC.) con la necessaria uscita d.c. da usare negli stadi successivi. E' previsto anche un canale audio per la prima scelta di un canale pulito. Il diodo usato e' del tipo al Germanio per la sua maggiore efficienza a bassi livelli applicati.

Il rivelatore radioastronomico usato professionalmente non e' costituito da un diodo al germanio che non permette la "quadraticita'" della risposta se non in un breve tratto della sua funzione di trasferimento.

La risposta quadratica si ottiene con diodi particolari o con FET che non ho ritenuto necessario utilizzare in questo caso. Ricordo che con la risposta quadratica, la tensione d.c. di uscita del rivelatore, e' linearmente proporzionale alla potenza R.F. ad esso applicata il che consente di rendere indipendente dal livello di lavoro la calibrazione del ricevitore, un vantaggio non trascurabile per il radioastronomo professionista.

Nel caso amatoriale in cui si bada piu' all' aspetto qualitativo della ricezione che a quello quantitativo, si e' optato per la semplicita' e l'economia .

Non si puo' comunque escludere che in alcune circostanze sia preferibile una scelta diversa.

Il diodo rivelatore e' caricato su una costante di tempo di 0.01 sec. ma vedremo che dovremo integrare ben di piu' negli stadi successivi per sperare di ricevere il radio-cielo.

#### 1-1-d) L'amplificatore d.c. e integratore

In questo progetto, con il ricevitore collegato alla antenna, la tensione d.c. all'uscita del rivelatore non supera i -100 mV ed e' ovviamente dovuta alla rettificazione del preponderante rumore proprio del ricevitore a cui e' pero'sommato anche il tenue "rumore" del segnale radioastronomico.

La distinzione tra i due livelli cosi' diversi tra loro avviene perche' si assume che il rumore di fondo del ricevitore rimanga costante nel tempo e quindi puo' essere azzerato applicando una controtensione a valle del rivelatore. In questo modo e' possibile amplificare di 10-100-1000 volte le piccole variazioni residue dovute al segnale radioastronomico senza incorrere nella saturazione dell' amplificatore stesso.

Inutile affermare che l'amplificatore d.c. dovra' essere estremamente stabile per evitare di confondere le variazioni di uscita provocate da cambi del suo guadagno con quelle di origine radioastronomica!

I moderni amplificatori operazionali sono molto stabili per costruzione per cui, alimentandoli con tensioni stabilizzate ed operando in ambienti con modeste escursioni termiche, si avra' la garanzia di un ottimo funzionamento. E'consuetudine adoperare due amplificatori operazionali sui quali si interviene separatamente per variare due fondamentali parametri: il GUADAGNO e la COSTANTE DI TEMPO DI INTEGRAZIONE.

Forse e'utile ricordare che la costante di tempo di integrazione, assieme ad altri parametri di cui si e' accennato in precedenza, determina la sensibilita' del radiotelescopio.

Uno schema elettrico guida per realizzare un buon amplificatore d.c. e' mostrato in fig.4.

Non ci sono particolari raccomandazioni da fare se non quello di usare un contenitore metallico con connettori coassiali per una efficace schermatura ed un ottimo potenziometro multigiro per P1, che regola la controtensione.

SW1 e SW2 potranno essere semplici interruttori a pallina. Lo strumento lettore della tensione d'uscita non e' necessario ma in pratica si dimostra utilissimo per verificare sia l'azzeramento che l'azione della costante di tempo.

Ampia facolta' di scelta esiste anche per gli operazionali usabili citati in parte nello schema elettrico di fig.4. E' utile filtrare con condensatori al tantalio gli ingressi delle alimentazioni che dovranno avvenire attraverso condensatori "passanti" saldati al contenitore.

#### 1-1-e) La presentazione del segnale d'uscita (display)

Si e' gia' accennato che la scelta moderna per un efficace "display" della uscita del radiotelescopio sia costituita da una scheda commerciale ADC e relativo software di gestione per PC sul cui monitor sara' osservabile la risposta alle radiosorgenti del nostro impianto. La scheda installata nel mio PC dispone di 16 canali con 12 bit di risoluzione, quindi complessivamente ridondante perche' solo un canale verra' effettivamente utilizzato. La tensione applicabile in ingresso ha un "range" variabile da 0 a 9 volt positivi regolabili tramite un potenziometro interno.

Il listato del programma che gestisce tutta l'operazione "display su PC" e' mostrato in fig.L1. E' scritto in "Quick Basic" ed e' a disposizione di chi avra' la voglia e la capacita' di ottimizzarlo.

Come si nota in fig.R2, e' richiesto che l'operatore decida e risponda ad alcune precise domande:

- gain? : il PC moltiplica il valore numerico della risposta per la cifra digitata dall'operatore. Viene cosi' fissato il fattore di scala per la visualizzazione;
- time scale (cm/min)? : fissa la durata della registrazione. Indicativamente digitando 0.05 la durata e' di oltre 9 ore; digitando 0.10 la durata e' dimezzata, cioe' 4.5 ore e cosi' via;
- start UT (hh:mm, <enter> = now)? se si digita subito <enter> la registrazione inizia immediatamente. Se e' richiesto, come di solito avviene, che la registrazione inizi ad una ora prefissata, si risponde indicandola in UT, nel formato indicato.  
Entrando questa informazione, apparira' nella riga sottostante, l'ora UT corrente aggiornata ogni secondo.  
Giunta l'ora di inizio della registrazione, scompare la indicazione dell'ora corrente ed al suo posto appare l'ora di inizio sia in UT che come ora siderale. Scaduto il tempo prefissato appare una quinta riga ove viene indicato il tempo esatto della fine della registrazione sia in UT che in LST. La indicazione dell'ora siderale costituisce una poco frequente opzione dovuta alla preziosa collaborazione del prof. Gavril Grueff.

Nell' esempio di fig.R2 ho fissato il guadagno a 5 volte per essere certo che la risposta non superi i limiti posti dalla risoluzione grafica dello schermo del monitor. La registrazione e' iniziata alle 13:24:53 UT per concludersi alle 01:00:56. La indicazione dell'ora siderale non e' necessaria in questa circostanza e non viene presa in considerazione. Si puo' inoltre dire che la registrazione e' iniziata subito e non ad una ora prefissata: infatti non appare nella terza riga, l'ora d'inizio che avrei dovuto necessariamente indicare.

Il passaggio al meridiano della sorgente e' facilmente determinabile sul tracciato, stampato su carta, facendo i semplici calcoli che cito quale esempio.

La lunghezza della traccia sullo schermo e' di 224 mm ed il tempo impiegato a coprirla e' stampato sul monitor. Infatti dalle 13:24:53 alle 01:00:56 indicate nella registrazione passano 11 ore, 36 primi e 03 secondi. Dalle effemeridi sappiamo che l'ora prevista per il passaggio del Cigno sono le 17:30:00 UT, cioe' 04:05:07 dopo l'inizio della registrazione. La proporzione da impostare e' la seguente:

$$224\text{mm} : 11:36:03 \text{ ore} = (x) \text{ mm} : 04:05:07 \text{ ore}$$

da cui si ricava che (x) , la distanza in mm sulla carta, dall'inizio della registrazione, sara' di 78.8 mm. La riga verticale con frecce indicata in fig.R2, mostra il punto esatto del tracciato a cui avviene il transito.

Il listato del programma SOLESID.BAS e' riportato in fig.L1. Esso gira sotto DOS ed e' scritto in Quick Basic come detto sopra.

Dopo aver trasferito tale file sul disco C si lancia il programma con:

```
\QB > QBASIC/RUN SOLESID.BAS
```

a cui il PC risponde proponendomi la serie di domande che abbiamo appena descritto.

Per modificare i parametri durante la registrazione, si ferma il tracciato con CTRL-BREAK e poi si digita ALT-E seguito da AVVIA. Allo <enter> mi vengono riproposte le domande a cui rispondero' con i nuovi dati.

Per uscire dal programma digito ALT-F e scelgo ESCI.

Il programma per la gestione di laboratorio della scheda AD/DA di cui abbiamo discusso fino adesso, mi e' stato proposto dal nostro ing. A. Gallerani. La sua trasformazione in programma maggiormente adatto all'uso radioastronomico e' dovuto al prof. G. Grueff. Ringrazio sentitamente entrambi.

La stampa su carta avviene, con il solito comando Print-Screen, su una vecchia stampante ad aghi STAR LC24-10.

Il nostro uso e' particolare ma non per questo sono richiesti PC e stampanti di grande pregio.

L'uso del computer e della stampante non preclude l'uso di altri sistemi di registrazione come il registratore a penna scrivente a inchiostro che qualche amatore potrebbe aver conservato funzionante. Prevedo qualche problema in piu', a parte le mani sempre sporche di inchiostro ma, ovviamente non esistono obiezioni di principio.

## **1-2 RICEVITORE "INTERFEROMETRO A SOMMA"**

Nel tracciato di fig.R2, a parte la modesta qualita', e' quasi impossibile verificare la presenza di una importante radiosorgente come il Cigno, confuso e sommerso nel fondo galattico, tra interferenze e instabilita' di varia origine, .

La ricezione interferometrica di cui parlero' ora, costituisce un miglioramento di grande efficacia per la identificazione delle radiosorgenti in un tracciato rumoroso, perche' costituita da massimi e minimi successivi spazati uniformemente (almeno in prima approssimazione).

Un esempio di tracciato interferometrico del Cigno e' mostrato in fig.R3. ove la sequenza dei massimi e minimi provocati dal suo transito davanti alle due antenne costituenti l'interferometro, risulta evidente malgrado la sottostante risposta alla Galassia.

Lo schema a blocchi di un interferometro a somma e' mostrato in fig.5.

Si osservera' che, rispetto al precedente ricevitore "total power", non vi sono modifiche da fare. E' solo necessario aggiungere un'altra antenna analogo a quella gia' utilizzata, ed acquistare o costruire il dispositivo che ne fa la somma (il "sommatore" nello schema a blocchi). Le uscite delle due antenne vanno collegate al sommatore tramite cavi coassiali dello stesso tipo e di identica lunghezza. Non vi sono limiti alla lunghezza del cavo di collegamento tra sommatore e ricevitore ma si tentera' di limitarla allo stretto necessario per evitare attenuazioni troppo grandi dei segnali ricevuti.

In fig.5 e' indicata una separazione fra le antenne di 18 lambda che e' quella permessa dalla lunghezza della terrazza disponibile al quarto piano dell' IRA. Provvidenzialmente la terrazza e' orientata quasi esattamente in direzione Est-Ovest il che permette di osservare le radiosorgenti alla loro culminazione agendo unicamente sulla elevazione, mantenendo costante l'azimuth nel piano Nord-Sud.

Con questa situazione logistica possiamo calcolare la "risoluzione" del nostro interferometro nei confronti del Cigno il cui transito e' ben evidenziato in fig.R3 e su cui sono subito misurabili alcuni parametri rilevanti: la durata complessiva della registrazione che si ottiene per differenza tra le ore di inizio e di fine stampate sul tracciato, la lunghezza in mm della registrazione e la distanza in mm tra i massimi (o i minimi). Con una semplice proporzione si ricava che il tempo che intercorre tra i massimi della risposta e' di circa 18 minuti che, tenendo conto dei 15 gradi/ora percorsi dalla Terra nella sua rotazione, diventano pari a 4.5 gradi. La risoluzione angolare del nostro interferometro e' diventata 4.5 gradi che ben si confrontano con i 40 gradi tipici di una antenna singola.

E' interessante confrontare questi dati sperimentali con quelli previsti teoricamente. La risoluzione angolare prevista dalla diffrazione per un sistema di due antenne collegate per realizzare un interferometro e' dato da:

$$Z = (\lambda/D \cos d) * 57.3 \quad (\text{gradi})$$

dove:

Z = risoluzione angolare

lambda = lunghezza d'onda di lavoro (=2 m)

D = distanza fra le antenne (= 36 m)

d = declinazione della sorgente (= 40 gradi per il Cigno)

Risolvendo si ottiene Z = 4.15 gradi che differisce di meno del 10% rispetto al valore ottenuto sperimentalmente.

Separazioni maggiori di 18 lambda risulteranno piu' adatte per dimostrazioni di radioastronomia pratica perche' piu' frequenti risulteranno le variazioni sul tracciato e quindi piu' viva l' attenzione degli osservatori ma la disponibilita' di spazio e la attenuazione dei cavi di collegamento pongono limiti severi.

E' chiaro che per evitare quest'ultimo problema si puo' ricorrere allo uso di preamplificatori d' antenna ma il loro impiego complicherebbe inevitabilmente il progetto.

### 1-2-a) Il sommatore

La somma dei segnali provenienti dalle antenne puo' essere realizzata con vari dispositivi a scelta fra prodotti commerciali e quelli costruibili in casa. Cito la Mini-Circuits che produce a prezzi moderati tutta una serie di "power splitters/combiners" che si prestano egregiamente al nostro uso. La loro perdita di inserzione o loro attenuazione non supera i 0.5 dB, un valore accettabile. Tra le specifiche salienti, oltre alla perdita di inserzione, giova ricordare l'isolamento fornito tra i due ingressi che puo' superare anche i 30 dB. La implicazione pratica e' che le due antenne non interagiscono fra loro. Le correnti R.F. provenienti dalle due antenne si richiudono verso la uscita somma comune ma non verso l'altra antenna.

Questo tipo di sommatore e' molto compatto e sfrutta dei toroidi o dei cilindretti di ferrite per realizzare dei trasformatori d'impedenza a larghissima banda.

La autocostruzione di un sommatore in ferrite e' molto semplice purché si abbiano a disposizione i cilindretti di ferrite di cui sopra. Lo schema di principio da realizzare e quello di fig.6A in cui e' suggerito anche una possibile disposizione dei costituenti all'interno di un contenitore di metallo.

Una soluzione particolarmente valida e' quella mostrata in fig.6B in cui e' schematizzato un "anello ibrido", molto noto negli ambienti amatoriali. L'anello e' costituito da 4 spezzoni di cavo coassiale da 75 ohm di impedenza caratteristica lunghi una calcolata frazione di lunghezza d'onda come indicato nella figura. La lunghezza effettiva dei cavi sara' quella calcolata tenendo conto della ridotta velocita' di fase dovuta alla presenza del dielettrico. Adoperando il comune RG59 o equivalenti a 75 ohm, i tratti di un quarto d'onda misureranno 34 cm e quello di tre quarti d'onda 101 cm. Anche in questo caso sara' obbligatorio l'uso di connettori coassiali e contenitore metallico. La terminazione da 50 ohm sulla porta "differenza" puo' essere realizzata anche con una comune resistenza a carbone da 47 ohm, 1/8 W.

### 1-2-b) Le radio-osservazioni

Le prime registrazioni interferometriche sono state fatte su una terrazza esposta a Sud ma lunga solo una ventina di metri, sufficienti per osservare il transito del Sole con una spaziatura delle frange modesta ma riconoscibili tra segnali interferenti prevedibilmente molto forti verso le ore 13.

Il primo risultato abbastanza deludente e' mostrato in fig.R4 ove il "man made noise" domina la registrazione.

Il miglioramento del programma di acquisizione ed una riduzione della banda passante del ricevitore a soli 15 KHz ha permesso di ottenere il miglioramento di fig.R5.

Per ricevere le altre due candidate, Cas A ed il Cigno, non e' necessaria una totale libera esposizione a Sud perche' entrambe ad alta declinazione pertanto e' stato possibile trasferire le antenne sulla terrazza al quarto piano dell'IRA che e' esposta a Nord ma la sua lunghezza in Est-Ovest di circa 40m permette l'ambita spaziatura tra le antenne di  $18 \lambda$ , molto utile per meglio distinguere segnali deboli in una prevedibile traccia rumorosa. Una provvidenziale circostanza ha favorito la ricezione delle due radiosorgenti candidate e' cioe' il fatto che in Ottobre transitano nella tarda serata, l'una, e nelle prime ore del mattino l'altra, quando sono meno probabili le interferenze locali. Un'ulteriore fortunata circostanza e' documentata nelle fig.R3 ove sono ben evidenti le frange di entrambe le radiosorgenti per via della modesta risoluzione angolare in declinazione delle antenne. La certezza della individuazione di due distinte emissioni deriva dal constatare due massimi delle frange in corrispondenza dell'ora prevista per il loro transito ma soprattutto per la diversa frequenza delle frange. La distanza fra i massimi della risposta d'interferometro e' maggiore per Cassiopea perche' piu' alta e' la sua declinazione.

### 1-3 RICEVITORE INTERFEROMETRO "A COMMUTAZIONE DI FASE"

L' invenzione del ricevitore a commutazione di fase che sintetizza una risposta interferometrica analoga a quella di un interferometro a prodotto classico ben piu' complesso, ha contribuito alla assegnazione del Nobel a M. Ryle nel 1974.

L'idea del prof. Ryle e' stata quella di alternativamente allungare di mezza lunghezza d'onda, cioe' di 180 gradi elettrici, uno dei cavi di collegamento al sommatore delle antenne. Un rivelatore di fase sincrono posto a valle del rivelatore AM, sottrae dal livello senza sfasatore, quello con sfasatore dando luogo a frange simmetriche rispetto ad uno zero centrale e comune, che diventa quasi insensibile a variazioni di ampiezza dovute a parametri elettrici.

La risposta interferometrica "teorica" per un interferometro a somma e' mostrata in fig.R6A e R6B ove la relazione di fase fra le due linee coassiali rimane costante nel tempo. In fig.R6C e' mostrata la loro somma realizzata dal rivelatore sincrono ed e' questo il tipo di traccia che ci si attende dall'interferometro a commutazione di fase.

Il maggior vantaggio consiste nel fatto che la risposta radioastronomica, risultando modulata alla frequenza di commutazione, puo' essere amplificata come segnale alternato e addirittura filtrata con un filtro passa-banda che riduce di molto il rumore esterno ed i segnali spuri indesiderati.

Si aggiunga poi che la sua risposta alle sorgenti estese (si ricordi il Cigno "sommerso" nella Galassia come nelle fig.R2 e R3), e' molto ridotta pertanto ci aspettiamo un netto miglioramento nelle nostre registrazioni.

Attenzione a non confondere le risposte teoriche con quelle effettivamente ottenibili in pratica, specie sulle VHF, in presenza di rumore ambientale molto forte e per i segnali relativamente deboli che vogliamo ricevere.

Lo schema a blocchi dell' interferometro a prodotto e' mostrato in fig.7 di cui ora descriveremo le parti salienti.

#### 1-3-a) Il ricevitore

Non sono richieste modifiche al ricevitore usato nelle precedenti esperienze, almeno fino al detector AM. Si noti solo l' aggiunta dello sfasatore a 180 gradi, in serie ad una delle antenne.

#### 1-3-b) Lo sfasatore a 180 gradi

Lo schema elettrico dello sfasatore e' mostrato in fig.8 ove la linea tratteggiata fa chiara allusione ad un contenitore metallico per una efficace schermatura. I diodi usati non sono di tipo o classe particolare anche se io ho preferito i "PIN" 1N5719 soprattutto perche' disponibili ma vanno bene anche gli 1N270 o simili. La linea coassiale lunga 68 cm potra' essere sistemata all' esterno della scatola con la calza saldata direttamente su una parete.

In previsione di usare frequenze diverse dai 146 MHz e per evitare non sempre valide saldature su telaio, sarebbe saggio installare due connettori coassiali su cui avvitare la linea esterna a sua volta terminata con connettori coassiali. Le impedenze R.F., di valore induttivo non critico, sono standard su nucleo di ferrite. L'ingresso della tensione ad onda quadra di commutazione per i diodi potrà avvenire tramite un "condensatore passante" saldato a telaio.

Inutile raccomandare la compattezza del montaggio necessaria anche per non alterare a caso la lunghezza elettrica del dispositivo.

### 1-3-c) Il preamplificatore a.c. ed il rivelatore sincrono

Si è detto che in questo tipo di interferometro, l'informazione radioastronomica risulta contenuta nell'onda quadra di commutazione, pertanto, dopo la rivelazione AM, non sarà necessario conservare la componente d.c. rivelata.

Si noti infatti che in fig.9 il preamplificatore a.c. è accoppiato capacitivamente sia in ingresso che in uscita.

Il potenziometro multigiro P1 va regolato per avere tensione zero sul piedino 6, uscita del 741, in assenza di segnali d'ingresso.

Il rivelatore sincrono, realizzato con un altro 741, opera in stretta sincronia con lo sfasatore sull'antenna. Sono infatti entrambi collegati alla stessa logica di comando di cui si parlerà qui di seguito. La commutazione sull'ingresso non invertente del rivelatore sincrono avviene tramite un FET posto alternativamente in saturazione ed interdizione dall'onda quadra di comando. Il segnale di ingresso verrà a trovarsi in fase o controfase rispetto a questa azione dando luogo ad una somma algebrica sulla sua uscita che costituirà il segnale utile da trattare ulteriormente come si dirà. In pratica, dunque, il rivelatore sincrono realizza la somma dei segnali indicati con A e B in fig.R6 per ottenerne la somma C indicata nella stessa figura. Il potenziometro P2 equalizza i livelli di ingresso in fase di taratura.

Una rivelazione sincrona di notevole interesse, progettata da alcuni studenti della Università di Trento che si sono cimentati nella costruzione di un radiotelescopio VHF per il loro corso di Laboratorio II, è mostrato in fig.10. Un preamplificatore accoppiato in alternata (C), pilota un operazionale a guadagno unitario (E) alternativamente sugli ingressi invertente e non invertente per cambiarlo di segno in sincronismo con l'onda quadra che pilota lo sfasatore a 180 gradi. La commutazione avviene tramite lo "switch digitale" DG200 secondo la logica:

Logica	uscita 1	uscita 2
0	IN	0
1	0	IN

All'uscita di "E" si ritrova il segnale di ingresso cambiato continuamente di segno alla frequenza del segnale di comando TTL.

Seguono il necessario integratore e l'amplificatore d.c. analoghi ai nostri di fig.4.

### 1-3-d) La logica di comando

Il circuito realizzato e' mostrato in fig.11. Si impiegano tre comuni integrati la cui funzione e' quella di generare un' onda quadra a circa 300 Hz, le tensioni di comando per lo sfasatore di antenna e per il rivelatore sincrono oltre ad un livello di +/- 15 mV che ci servira' per la taratura. Sull' uscita "A" sono disponibili +/- 10 V che ovviamente si ridurranno a +/- 0.7 quando le giunzioni sono alternativamente operative.

L' uscita "B" invia al FET, sul rivelatore sincrono, una tensione positiva di 2 V per saturarlo energeticamente e di -10 V per interdirne il funzionamento.

Sul connettore "T", dopo la selezione della fase operata da SW1, e' disponibile la tensione per la taratura della unita' precedente.

### 1-3-e) Taratura dello stadio descritto in 1-3-c)

Con un filo volante si collega il segnale presente in T , all' ingresso del preamplificatore a.c. scollegato dal rivelatore AM e si misura la tensione d.c. presente all' uscita del rivelatore sincrono. Commutando SW1 si dovranno leggere tensioni identiche ma di polarita' invertita.

Un valore tipico potra' essere (+/- 0.4) volt rispettivamente. Piccole disuguaglianze dei valori assoluti verranno corrette agendo su P2.

### 1-3-f) Amplificatore d.c. e integratore

La integrazione e la amplificazione d.c. , i due importanti parametri che caratterizzano il ricevitore radioastronomico sono necessari anche in questa circostanza. Lo schema mostrato in fig.4 risulta perfettamente idoneo per assolvere alle funzioni richieste. Ci si accerti che il tempo di integrazione sia sufficientemente lungo (almeno 10 sec. ma si puo' anche integrare di piu'. Il limite superiore e' quello che si avvicina troppo al tempo di frangia)

### 1-3-g) Le radio-osservazioni

Il transito di Cassiopea in fig.R7 e R8 a me sembra di qualita' molto buona specie se lo confrontiamo con quello ottenuto con l'interferometro a somma di fig.R3. Una piu' attenta analisi dell'interferogramma di fig.R9 ottenuto con le antenne predisposte per il transito del Cigno, risulta molto interessante.

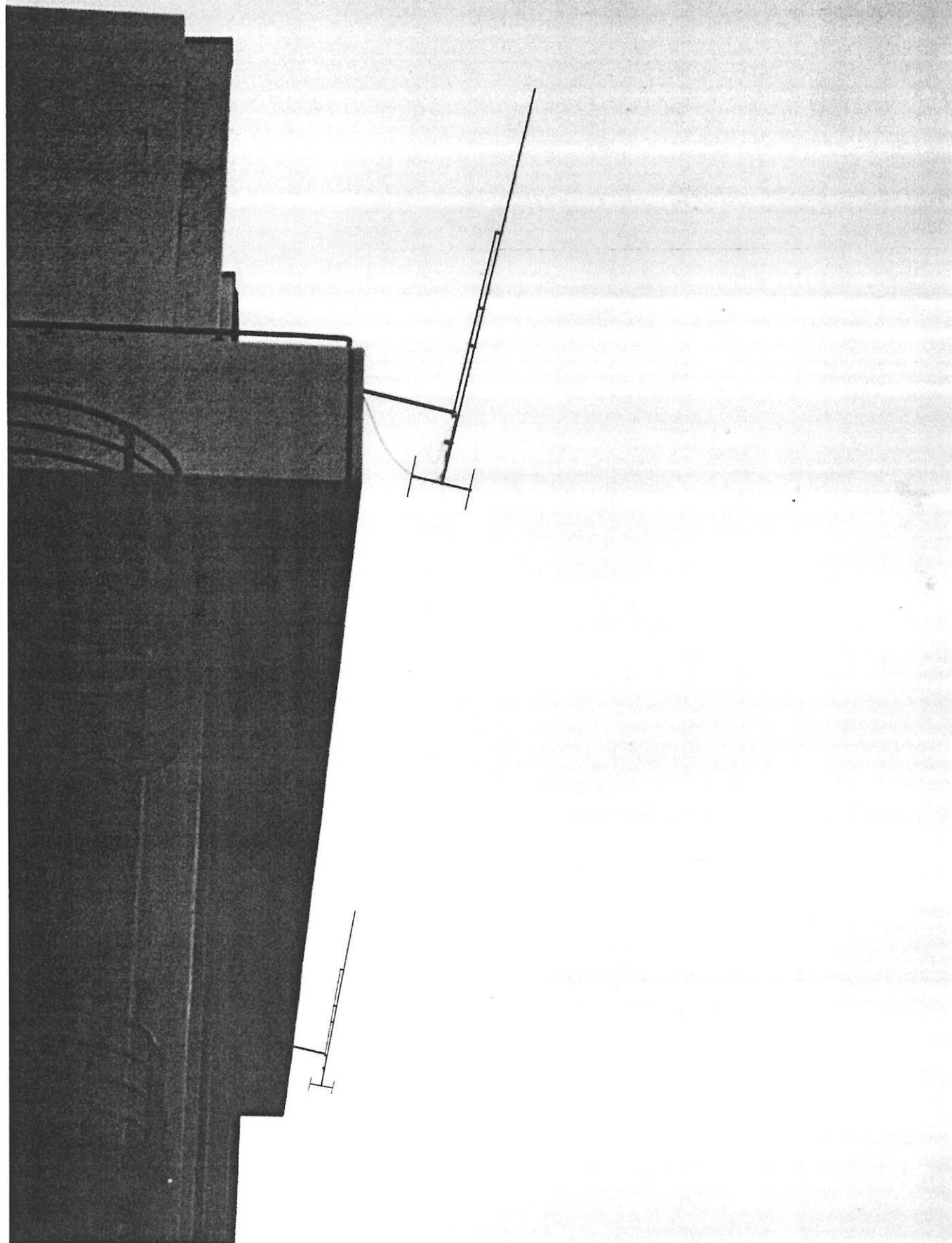
La sequenza imprevedibilmente lunga delle frange di interferenza e la diversa spaziatura di quelle sulla destra del tracciato fecero subito pensare al transito di qualche altra sorgente a piu'alta declinazione.

Riportando sull' asse dei tempi anche l'ora di transito di Cassiopea si fugo' ogni dubbio. L'interferometro, per la sua scarsa risoluzione in declinazione, ha rivelato la culminazione di entrambe le radiosorgenti, che "distano" di solo 18 gradi in elevazione, senza modifiche del puntamento.

Le fig.R7, R8 e R10 sono riportate perche' costituiscono esempi significativi di una buona ricezione.

Le analoghe osservazioni fatte con l'interferometro somma sono meno belle e meno evidenti di queste.

FIGURA FUORI TESTO. Le antenne Yagi dell'interferometro per VHF sistemate lungo la terrazza al quarto piano IRA (Foto Nando Primavera)



## 2 - RADIOASTRONOMIA SULLE MICROONDE

### 2 - a) Introduzione

Riferendoci ancora alla fig.1, e ponendo ancora una soglia all'osservabile non lontano dalle 10000 F.U. date le modeste aree efficaci delle antenne che potremo installare e le sensibilita' "commerciali" dei "front end" che saremo costretti ad usare, non sara' possibile ricevere radiosorgenti diverse dal Sole e dalla Luna.

In realta' il radiotelescopio a microonde offre anche altre possibilita', oltre a quelle radioastronomiche, di interessante utilizzo come la misura a distanza della temperatura di un corpo (molto divertente ed istruttivo per le scolaresche, "vedere radioastronomicamente" il compagno che attraversa il fascio d' antenna) o la misura della temperatura del cielo confrontata con quella della Terra ruotando un paraboloide dallo zenith all' orizzonte.

Anche la misura della temperatura di nubi temporalesche risulta facile ed istruttiva.

La ricezione del Sole e della Luna a microonde non debbono necessariamente avvenire su una banda prestabilita pertanto ci orienteremo verso una banda comoda per la quale sia possibile reperire sul mercato surplus o "consumer" i necessari componenti per la ricezione .

La scelta della banda su cui operare non e' neanche troppo dipendente delle interferenze che risultano meno problematiche sulle frequenze piu' alte e questo ci permettera' di usare bande di media frequenza molto ampie: cito 200 MHz, un valore che appare nello schema a blocchi di fig.12 che si confronta favorevolmente con i 15 KHz usati in VHF.

Dal rapporto fra i due valori, estrarre la radice quadra, si ottiene un miglioramento della sensibilita' radioastronomica di oltre 10 dB.

Anche per l'antenna da utilizzare che sara' costituita da un paraboloide di piccole dimensioni, si potra' attingere dal mercato "consumer" o surplus.

Da queste premesse mi sembra scontato riferire il "consumer" al fiorente mercato della TV via satellite che opera in banda "Ku" tra gli 11 e 12 GHz (e oltre).

Il mercato satellitare e' in costante espansione con una crescente qualita' dei prodotti disponibili a prezzi sempre piu' competitivi ed e' stata mia preoccupazione attingervi il piu' possibile.

I satelliti che irradiano programmi televisivi sono ovviamente geostazionari ed operano necessariamente sul piano equatoriale alla quota di circa 36000 Km. La loro posizione nel cielo e' pertanto fissa e facilmente prevedibile per cui eviteremo accuratamente di riceverli o di puntare la nostra antenna vicino alla fascia che li contiene ("fascia di Clarke") per evitare fenomeni di saturazione del nostro ricevitore.

Non si tratta di un grave limite anche perche' i corpi celesti che potremo ricevere non impiegano molto tempo ad attraversare la zona per noi proibita.

Le bande previste per il Servizio di telediffusione via satellite sono sostanzialmente due: la "C" che va da 3400 a 4200 MHz, poco usata in Europa occidentale, e la "Ku" che opera da 10.7 a 12.75 GHz (da 11 a 12 GHz nelle nostre realizzazioni).

La banda C potrebbe risultare molto interessante ai fini radioastronomici se non altro per le straordinarie sensibilità commerciali dei front-end disponibili ed acquistabili a buon prezzo (si parla di 20 gradi Kelvin di temperature di rumore). Il problema di questa banda, almeno per quanto ci siamo prefissi noi, è quello della antenna che non potrà essere di piccole dimensioni se si vuole avere una decente risoluzione angolare. Non a caso il mercato prevede paraboloide con un diametro minimo di tre metri, sicuramente non trasportabili sul portapacchi di una automobile! Anche la struttura portante del paraboloide dovrà risultare proporzionata, con peso ed ingombro intollerabili per un impianto "mobile" o comunque trasportabile.

La scelta di operare sulla Ku è praticamente obbligata pertanto è unicamente a questa banda che dedicheremo la nostra attenzione.

## 2 - b) *Antenna e cavalletto*

Per sostenere e poter orientare un paraboloide è importante disporre di un robusto cavalletto con "gambe" allungabili per poterlo livellare anche su terreno accidentato. Salvo il fortunato possesso di un cavalletto professionale già attrezzato "ad hoc" si dovrà di norma equipaggiare il nostro esemplare con accessori meccanici che permettano l'ancoraggio dell' antenna e la sua rotazione nei piani zenitale e azimutale, con lettura dei rispettivi angoli.

Assumendo che il diametro del paraboloide sia di 1 metro, il suo fascio a 12 GHz risulta di circa 1.4 gradi, pertanto sarà necessario poter apprezzare nell'indicatore di direzione, che potrebbe essere un semplice goniometro di plastica, almeno il mezzo grado. Il miglior risultato si otterrebbe installando due encoder per la lettura digitale del puntamento ma bisogna valutare bene la convenienza e la reale utilità.

Altrettanta cura è necessaria per ridurre i giochi meccanici che dovranno essere inferiori al mezzo grado. L'impresa è meno facile di quanto non si creda specie se, come nel mio caso, si faccia ricorso a riduttori calettati sugli assi di rotazione del cavalletto per rendere dolci e precisi i movimenti. Sfortunatamente anche i riduttori meccanici, specie quelli economici, non sono immuni da giochi che possono anche essere di mezzo grado. Per evitare che il paraboloide sia in balia di ogni modesto colpo di vento è necessario "caricare" con un opportuno contrappeso il movimento in azimuth. I giochi in elevazione si auto-compensano perché il riduttore interessato è sempre in trazione dalla stessa parte a causa del peso dello stesso paraboloide che risulta a sbalzo rispetto alla verticale anche se con un braccio molto piccolo.

Anzi, per limitare questa trazione, è utile la installazione di un secondo contrappeso.

I piccoli spostamenti dovuti ai giochi meccanici sono particolarmente dannosi nella ricezione interferometrica perché variando la fase del segnale in arrivo in modo caotico introducono un inaccettabile rumore nella registrazione. Ma di questo diremo più avanti.

Una foto del mio radiotelescopio a microonde è mostrata in fig.13.

Un primo piano dei dettagli relativi alla movimentazione del cavalletto e dei goniometri per la lettura della posizione angolare è mostrato nelle fig.14 e 15.

L' antenna mostrata in fig.13 è del tipo "off-set" ed ha un diametro di 1.2 metri. Non vi sono particolari ragioni per aver scelto il tipo off-set: era semplicemente disponibile come non vi sono ragioni per aver scelto il "feed" (o illuminatore) che si nota nel fuoco dello specchio. Il commercio offre una infinita di soluzioni e di tipi diversi con una unica prerogativa: il loro costo bassissimo se confrontato con le prestazioni, come vedremo.

## **2 - c) L'illuminatore + LNB**

Tutti i ricevitori a microonde che verranno proposti nel prosieguo useranno questo straordinario dispositivo genericamente noto come LNB (Low Noise Block) che integra in pochi cm cubi, un illuminatore a tronco di cono corrugato, un doppio amplificatore (per le due polarizzazioni lineari) a bassissimo rumore (anche 0.6 db di cifra di rumore o 40K di temperatura di rumore), un mixer attivo (non a diodi), un oscillatore locale con risuonatore dielettrico (DRO), un filtro di banda interdigitato, un amplificatore di media frequenza e dispositivi per la stabilizzazione della tensione di lavoro e di commutazione per le polarizzazioni. Lo LNB amplifica il segnale di ingresso in banda Ku e, tramite un oscillatore locale molto stabile, lo converte alla I.F. che, nei primi tipi operava tra gli 850 ed i 1800 MHz, circa. Il guadagno complessivo di tutta l'unita' e' prossimo ai 60 dB su una banda passante di circa 1 GHz, un risultato tecnico che probabilmente nessun amatore potra' mai conseguire.

Una foto di un LNB completo di illuminatore e' mostrato in fig.16 mentre la figura 17 nei mostra apprezzabile dettagli tecnici come i due dipoli ortogonali stampati posti nel vano circolare a cui fa capo la guida d' onda dell' illuminatore. I dipoli sono collegati a due amplificatori HEMT a bassissimo rumore le cui uscite convergono in un sommatore a semicerchio indicato in figura. La selezione della polarizzazione di lavoro avviene interdicendo con una tensione negativa lo stadio collegato al dipolo indesiderato.

Il comando avviene (almeno nei miei due esemplari) a valle della linea di trasmissione di uscita fornendo alternativamente +12 V oppure +18V.

Gli stadi non interessati alla commutazione prelevano la loro tensione di alimentazione da uno stabilizzatore integrato interno che fornisce +5 Volt.

Nel caso radioastronomico non sara' necessario commutare polarizzazione: la radiazione termica del Sole e della Luna non sono polarizzate quindi non sara' possibile sbagliare.

Sara' invece utile che l'aspirante radioastronomo, all' atto dell'acquisto del paraboloide, si accerti che lo LNB-illuminatore che gli viene proposto, sia quello corretto e previsto dal costruttore dell'antenna. La ragione della mia preoccupazione sta nel fatto che i segnali televisivi provenienti dai satelliti sono molto forti e nessun cliente si accorgera' mai se il suo LNB illumina poco efficacemente il paraboloide. Per il commerciante il problema non si pone perche' tanto l'impianto funziona sempre, anche con qualche dB di segnale in meno, pertanto tendera' a convincerci che non ci sono problemi e invece potrebbero essercene.

Vedremo fra poco che questi LNB, pur compatti e inaccessibili a prima vista, non lo sono in realta'. Infatti una modifica per noi essenziale verra' discussa fra poco.

## **2 - d) Il filtro passa-alto**

Lo LNB e' alimentato attraverso il cavo coassiale d' uscita ma e' utile poterlo alimentare indipendentemente dal resto della elettronica se non altro per provarne il funzionamento sia a 12 che a 18 volt.

La figura 18 mostra il circuito elettrico ed uno schizzo sul come realizzare praticamente il necessario filtro passa-alto, idoneo ad operare fino ai 2 GHz. Un filtro analogo a questo sara' ovviamente integrato all'interno del LNB.

Il nostro contenitore metallico misura (25 x 12 x 18) mm. e prevede l'uso di due connettori: un "F" per il cavo coassiale proveniente dal LNB ed un SMA a cui collegare lo la successiva elettronica.

I valori della impedenza R.F., della capacita' di accoppiamento e del condensatore passante non sono critici: quelli indicati in fig.18 sono solo indicativi.

Questo dispositivo non e' reperibile in commercio pertanto dovra' necessariamente essere autocostruito. Anzi consiglio subito di realizzarne due esemplari perche' di tanti avremo bisogno quando prepareremo l'interferometro.

## **2 - e) Amplificatori di linea**

Costituiscono un utilissimo dispositivo utilizzabile con profitto per i nostri esperimenti di radioastronomia. Si tratta di piccoli amplificatori passanti a transistor che possono essere collegati, attraverso i loro connettori coassiali, direttamente in serie alla linea di discesa, utili quando questa sia troppo lunga e quindi ad alta attenuazione.

Il guadagno della singola unita' e' standardizzato in 10 o 20 dB su una banda passante di oltre un GHz, cioe' su tutta la banda I.F. del LNB. Ovviamente il circuito elettrico a transistor non e' in grado di amplificare linearmente segnali di ingresso molto elevati: un minimo di compressione dei livelli televisivi e' probabile ma nel caso radioastronomico non vi sono particolari problemi se non, forse, nella ricezione del Sole.

La alimentazione in c.c. degli amplificatori viene "prelevata", dal cavo coassiale di connessione.

Gli amplificatori di linea sono acquistabili ad un prezzo equo dai rivenditori di componenti per la TV via satellite.

## **2 - f) Divisori di segnale (splitters)**

Anche questo dispositivo proviene dal rivenditore di TV satellitare perche' e' usato per suddividere su due utenze e in parti uguali, i segnali provenienti da un singolo LNB. Il divisore e' stampato e racchiuso in un contenitore metallico con accesso tramite tre connettori coassiali tipo F. Per evitare interazioni in c.c. fra le due utenze sono previsti due diodi posti in serie alle uscite del divisore. La banda di lavoro di questa interessante unita' e' frequentemente compresa fra i 700 e 2150 MHz.

Inutile dire che noi adopereremo questo divisore nella sua funzione inversa e cioe' in quella di "sommatore" di segnali provenienti dalle due antenne distinte che caratterizzeranno i nostri interferometri.

Per il nostro uso, i diodi in serie alle uscite ("ingressi", nella nostra applicazione), risultano un impedimento pertanto e' necessario cortocircuitarli (anche senza la loro asportazione fisica) con due bandelline sottili di rame.

## **2 - g) Il rivelatore (detector AM)**

Trattando il caso VHF non ci siamo preoccupati piu' di tanto della quadraticita' della risposta del rivelatore: anzi si e' detto di preferire un comune diodo al germanio perche' piu' efficiente ai bassi livelli di operazione.

Si e' sempre specificato pero' che il rivelatore opera in AM, e' cioe' a rivelazione di inviluppo, sensibile alle variazioni di ampiezza del segnale applicato.

Nel caso microonde ove e' piu' probabile proporsi misure quantitative dei segnali ricevuti e per le piu' alte frequenze I.F. che si debbono rivelare, e' necessario disporre di un componente un po' piu' selezionato e, almeno, averlo in montaggio coassiale.

La soluzione piu' ovvia e' quella di acquistare un rivelatore quadratico commerciale come ad esempio uno dei molti tipi HP. Sceglieremo il tipo che opera solo fino a 2 GHz ma il suo costo non risultera' modesto lo stesso. Una selezione di detector H.P. con alcune loro importanti specifiche elettriche sono riportati in fig.19.

Il montaggio coassiale di un comune diodo rivelatore, agevolmente duplicabile in laboratorio, e' mostrato in fig.20. Nella stessa figura sono indicati due schemi elettrici alternativi. Quello con due diodi e' isolato per la c.c. in ingresso ma il suo montaggio pratico all'interno del connettore N, risultera' un po' piu' complicato a causa del maggior numero di componenti da sistemare nel ristretto spazio ma ne e' stata verificata la possibilita'.

In fig.21 sono indicate le risposte di tre diversi detector a cui si applica una prefissata potenza monocromatica d'ingresso, espressa in dBm. Si vedono chiaramente alcune caratteristiche: la maggior resa con ottima quadraticita' del diodo zero-bias, la modesta quadraticita' del "diodo comune" per livelli di ingresso anche inferiori al mW e l'ottimo comportamento, anche se a resa piu' modesta, del rivelatore professionale. Nell'uso radioastronomico ove all'ingresso del rivelatore e' applicato un alto livello di rumore invece che segnale sinusoidale monocromatico, le funzioni di trasferimento indicate tenderanno a deteriorarsi sensibilmente.

## **2 - 1 RICEVITORI "TOTAL POWER" PER MICROONDE**

### **2-1-a) Introduzione**

Anche per la ricezione del radiocielo a microonde il primo ricevitore che si puo' pensare di realizzare e' quello "total power" quello cioe' che utilizza la massima banda radio disponibile senza preoccuparsi troppo delle precise frequenze a cui si riceve. Specificare "total power" e' necessario perche' esiste un'altra radioastronomia, quella della ricezione di precise frequenze emesse da immense nubi di gas ionizzato (o neutro, come nel caso della "riga" a 21 cm), radioastronomia che per sua specificita' e specializzazione non e' alla portata dell'amatore.

Si e' gia' detto che la sensibilita' di un radiotelescopio dipende, tra altri parametri, anche dalla banda passante che si e' in grado di utilizzare. Sulle microonde la banda disponibile

per l'uso radioastronomico amatoriale puo' risultare anche molto ampia pertanto potremmo pensare di utilizzare addirittura tutta la banda Ku, come suggerito in fig.12. Di norma questa possibilita' non si verifica praticamente perche' una qualche situazione interferenziale locale non si puo' mai escludere ma cio' non toglie che sia ragionevole tentare perche' il radiotelescopio didattico che potrebbe uscirne risulterebbe unico per semplicita' e compattezza.

### **2-1-1 IL PIU' SEMPLICE RICEVITORE PER RADIOASTRONOMIA DIDATTICA**

Un prototipo funzionante sul principio appena enunciato e' mostrato in fig.22 ed e' costituito, a parte il cavalletto e l'antenna, da un LNB seguito da un amplificatore di linea di 20 dB di guadagno collegato, tramite il filtrino passa alto per l'alimentazione di fig.18, direttamente al detector di fig.20. La tensione d.c. rivelata alla sua uscita e' di qualche decina di mV e puo' pilotare agevolmente il nostro amplificatore d.c.-integratore riportato in fig.4.

Sara' utile limitare a qualche metro la lunghezza del cavo coassiale di collegamento con lo LNB per ovvie ragioni di attenuazione. Il punto di inserzione dell'amplificatore di linea non e' particolarmente critico ma probabilmente conviene averlo a valle del cavo, vicino all' alimentatore ed alla elettronica post-rivelazione.

Questo radiotelescopio, malgrado la sua estrema semplicita', e' in grado di rivelare il transito nel fascio d' antenna del Sole (vedi fig.R1) ma anche della Luna di cui non ho pero'conservato alcuna registrazione. Sono anche possibili quegli esperimenti didattici di cui si e' detto in precedenza come "vedere" il collega che passa davanti al paraboloide, il confronto fra le temperature fisiche del cielo e della terra, il transito di nubi temporalesche, la pioggia all' orizzonte ecc.

Il listato che agevola questo tipo di utilizzo e' riportato in fig.L2.

### **2-1-2 RICEVITORE "TOTAL POWER" SELETTIVO**

L'uso del ricevitore precedentemente descritto potrebbe risultare problematico in siti ad alto inquinamento elettromagnetico. La riduzione della banda passante ottenuta con filtri inseriti nella catena di amplificazione di media frequenza puo'migliorare la situazioni in caso di forti interferenze locali.

Lo schema a blocchi del ricevitore "total power" selettivo realizzato e' quello mostrato in fig.12. In fig.23 viene mostrata, con qualche dettaglio, la sezione di amplificazione di I.F.

Gli amplificatori impiegati, di cui si cita la siglatura, sono commerciali e prodotti dalla Mini Circuits. Il guadagno complessivo della catena I.F. risulta di circa 35 dB.

La banda passante viene limitata a 200 MHz da due filtri di banda che erano disponibili in laboratorio, con centro banda casualmente fissato dagli stessi a 1200 MHz.

Filtri di banda costruiti per la banda amatoriale centrata a 1297 MHz e quindi usabili in questa applicazione, sono reperibili presso i negozi specializzati in apparati radio-

amatoriali. Per l' autocostruttore esistono una miriade di progetti apparsi su riviste specializzate che forniscono dati sufficienti per loro realizzazione in laboratorio.

Per dimostrazioni esterne e per una sicura portatilità e' utile installare all' interno di una scatola metallica tutti i componenti racchiusi dal blocco in tratteggio della fig.12 a cui convergeranno solamente il cavo dallo LNB e quello dal computer-display, oltre, ovviamente, a quello per l'alimentazione.

Si intende che i blocchi indicati nelle figure sono sempre quelli descritti in precedenza in questo rapporto. Così il blocco "d.c. AMP. + INTEGR." si riferisce a fig.4 e così via.

Una versione "selettiva" più economica potrebbe essere realizzata con l'impiego di due amplificatori di linea al posto dei Mini Circuits ma si prevedono difficoltà pratiche come l'uso dei connettori F, un po' scomodi per montaggi entrocontenuti, e la possibile saturazione del secondo stadio.

Il cielo osservabile con questo radiotelescopio non differisce sostanzialmente da quello visibile col precedente. Spesso e' il rapporto S/N cioè la qualità del tracciato che sembra migliore come si apprezzerà osservando l' eccellente transito della Luna di fig.R11.

## **2-2 RADIOMETRO SPERIMENTALE (DICKE RECEIVER)**

La descrizione di un radiometro esula un po' da quello che ci si era proposto all' inizio di questo lavoro ma vi rientra se considero che, in generale, anche circuiti e tecniche abbastanza raffinate come un Dicke receiver possono avere una valida versione amatoriale, realizzabile quindi anche con il solo scopo di verificarne il funzionamento.

Le soluzioni tecniche semplificatrici che vengono ora proposte sono originali e possono trovare impiego in qualche applicazione professionale.

Il radiometro diventa necessario quando la stabilità del guadagno del ricevitore riveste particolare importanza. I radioastronomi, ad esempio, lo usano per misurare con precisioni e accuratezze straordinarie le anisotropie della temperatura di corpo nero dell'Universo.

L'idea base e' quella di commutare a frequenze audio (10-1000 Hz) l'ingresso del ricevitore alternativamente sull' antenna o su un carico adattato.

L' uscita I.F. rivelata sarà costituita da due livelli corrispondenti alle temperature equivalenti dei due carichi di ingresso. Un rivelatore sincrono ne fa continuamente la differenza che amplificata ed integrata costituisce la tensione d'uscita da visualizzare o registrare.

La miglior stabilizzazione del guadagno si ottiene quando l' antenna ed il carico d'ingresso sono o "vedono" la stessa temperatura, condizione di difficile realizzazione anche professionalmente perché l' antenna vede un cielo freddo a temperature di corpo nero di poche decine di Kelvin, temperatura a cui dovrebbe essere posto anche il carico fisso.

La commutazione antenna-carico a temperatura criogenica costituisce un problema complesso, specie a microonde. Nel nostro caso, dovendo solo dimostrarne il funzionamento, rilasseremo la condizione di pari temperatura dei carichi senza semplificazioni sulla restante elettronica.

Lo schema a blocchi del ricevitore proposto e' mostrato in fig.24.

Da una prima occhiata, a parte le commutazioni di cui si dirà fra poco, i blocchi ci risultano familiari: ad un LNB alimentabile a 12 o 18 volt per il cambio della

polarizzazione, fa seguito un amplificatore di media frequenza costituito da amplificatori commerciali o da amplificatori di linea come detto in precedenza.

Il blocco (DETEC. AM) e' costituito da un diodo come mostrato in fig.20, a cui fa seguito l' (AMP. a.c. + RIVEL. SINCR.) che e' semplicemente quello descritto e mostrato in fig.9. Il blocco (AMP. d.c. + INTEGR.) e' quello classico di fig.4.

Un blocco inconsueto e' costituito dalla (LOGICA DI COMANDO) che e' piu' classicamente utilizzato in impianti per interferometria come abbiamo visto nel caso VHF e come vedremo nel prosieguo del Rapporto.

Lo schema elettrico di questa unita' e' quello di fig.11.

Il vero problema da risolvere in questo tipo di ricevitore e' quello della commutazione antenna-carico fisso. Si e' pensato di usare relays coassiali ma la loro inerzia meccanica non li rende capaci di commutare a frequenze di qualche centinaio di Hz come richiesto, oltre alla notevole complicazione elettro-meccanica per il loro inserimento in circuito. Anche le commutazioni con circolatori in ferrite o con diodi non sono praticamente implementabili per analoghe ragioni. La soluzione da me proposta ed attuata e' quella di sfruttare una commutazione gia' prevista dal costruttore del LNB: quella della polarizzazione ottenuta agendo sulla tensione di alimentazione del LNB.

Questa commutazione puo' avvenire a 300 Hz, frequenza a cui opera il nostro blocco "logica di comando", interfacciata con un circuito elettronico, appositamente progettato, mostrato in fig.25. Il piedino comune dello stabilizzatore integrato LM7812 viene alternativamente connesso a massa (T1 saturo) con tensione d' uscita pari a 12 V o a +6 volt (T1 interdetto) con tensione d' uscita pari a 18 V.

La regolazione fine dei 18 V avviene agendo sul potenziometro multigiro P1.

La tensione di commutazione proveniente dalla logica di comando presente sulla base di T1 sara' dell' ordine dei 100 mV p.p. In alternativa al prelievo sul punto "A", ci si potra' collegare sul centro di SW1 che offre la possibilita' di poter variare la fase del comando.

Essendo riusciti a cambiare polarizzazione 300 volte al secondo non implica aver realizzato le nostre specifiche. Ma a questo punto decidiamo di rinunciare ad una delle polarizzazioni (cosa che d'altra parte abbiamo sempre fatto finora), escludendo dal circuito elettrico uno dei due dipolini stampati ed al suo posto saldiamo una resistenza di 50 Ohm che operera' come carico fisso.

Una possibile realizzazione pratica e' quella mostrata in fig.26. LNB diversi presenteranno varianti circuitali ma il principio resta valido: uno dei dipoli viene scollegato ed al suo posto si salda una piccola resistenza di carico.

Attenzione al fatto che i dipoli sono sotto tensione pertanto la resistenza di carico non potra' essere collegata direttamente a massa. Si notino in fig.26 i suoi punti di saldatura sul circuito stampato. La resistenza dovra' essere molto piccola e di ottima qualita': il tipo su ceramica usato in circuiti SMD risulta ottimo.

Il circuito e le soluzioni da me adottate per realizzare un Dicke Receiver non sono immuni da inconvenienti e lacune, come:

- a) il non verificabile adattamento di impedenza tra carico aggiunto e ingresso dello stadio amplificatore associato;
- b) detto amplificatore non e' lo stesso su cui opera anche il dipolo attivo per cui risulta operare "fuori dal loop" ;
- c) le temperature d'antenna e del carico sono tutt'altro che uguali fra loro pertanto il Dicke switch viene a perdere buona parte della sua ragione di essere.

Come premesso, la realizzazione di questo ricevitore ha solo una giustificazione tecnico-didattica. In ogni caso, nelle nostre realizzazioni sperimentali, non sono richieste le stabilita' di guadagno che un ricevitore Dicke e' potenzialmente in grado di offrire.

Le osservazioni del radio-cielo fatte con questo strumento sono state scarse e non documentate. Di rilievo e' stato verificarne il funzionamento in laboratorio. La circuitistica elettronica sviluppata e le soluzioni originali sono state descritte perche' utilizzabili anche in altri casi o in altre applicazioni.

## 2-3 INTERFEROMETRO A SOMMA

### 2-3-a) Aspetti generali

In fig.R11 e' mostrato un transito della Luna di indubbia qualita' che non manchera' di interessare gli appassionati "spettatori" in una dimostrazione pratica di radioastronomia amatoriale. Un problema, con questo tipo di presentazione visiva, e' costituito dalla sua staticita': per osservare un solo massimo nella risposta, con una antenna con un fascio di 1.4 gradi (1 metro di diametro), bisogna attendere ben 5 minuti. Una videata piu' spettacolare si puo' ottenere con una ricezione interferometrica, come abbiamo verificato nel caso VHF, con il vantaggio, a microonde, di poter avere frange molto fitte anche con spaziature modeste fra le antenne.

Considerando la lunghezza d'onda a cui ora operiamo che e' di soli 25 mm, per ottenere una spaziatura di 18 lambda come in VHF, basterebbe disporre le antenne paraboliche a 45 cm tra loro!

La scelta di verificare il funzionamento di un interferometro a microonde non e' pero' dettata da sole esigenze di gradevole display. Il tecnico o l'esperto non mancheranno di doversi impegnare nelle realizzazioni a venire.

L'interferometro e' sempre caratterizzato dal fatto di richiedere almeno due antenne le cui uscite opportunamente amplificate, sommate e rivelate daranno luogo ad una serie di massimi e minimi nella risposta complessiva in funzione della posizione della radiosorgente, relativa alle due antenne. Detto in altro modo, possiamo affermare che la fase con cui si sommano le uscite singole varia continuamente durante il transito della radiosorgente nel fascio delle due antenne dando luogo ad una serie massimi e minimi consecutivi.

Dobbiamo ora fare una importantissima considerazione che riguarda proprio la fase dei circuiti elettrici (non quella del segnale in arrivo che dipende dal puntamento dell'antenna!).

Nel caso VHF la costanza della fase dei segnali provenienti dalle due antenne era assicurata dalla identica lunghezza a cui abbiamo tagliato i cavi di collegamento fino al sommatore. Dopo il sommatore non esistevano piu' problemi perche' i due segnali erano diventati uno solo.

Nel nostro caso non possiamo evitare di usare gli LNB commerciali per le ragioni di cui si e' abbastanza discusso. I nostri due LNB che avremo scelto dello stesso costruttore e dello stesso tipo, hanno i percorsi del segnale d'ingresso rigorosamente uguali per costruzione e comunque non modificabili.

I segnali di ingresso vengono amplificati e poi convertiti a media frequenza con due oscillatori molto stabili (controllati da risuonatori dielettrici, DRO) operanti a frequenza fondamentale e cioè a 10 GHz) e di frequenza nominalmente identica. Sfortunatamente la loro frequenza non è mai rigorosamente identica ma anche se lo fosse, non sarà mai stabile nel tempo nei limiti di una piccola frazione di Hz.

La deriva anche di un solo Hz implica una variazione di fase di 360 gradi, figuriamoci poi se tale deriva varia caoticamente nel tempo! A queste condizioni non sarà mai possibile ottenere frange di interferenza per cui non abbiamo alternative: i due LNB dovranno necessariamente operare con un unico, identico O.L.

Un'altra necessaria considerazione riguarda la meccanica della installazione.

Le antenne dovranno essere due ma quale diametro è necessario per ricevere almeno il Sole e la Luna? A quale distanza è necessario o lecito disporle?

Il diametro necessario della singola antenna può essere calcolato riferendoci ai flussi previsti e riportati in fig.1 e tenendo conto dell'area efficace necessaria per avere una ragionevole "sensibilità radioastronomica" determinata, come sappiamo, anche da altri parametri come la temperatura di rumore del LNB, dalla banda passante dell'amplificatore di media frequenza e della costante di tempo di integrazione. Per evitare una trattazione teorica, fuori luogo in questo Rapporto faremo riferimento alle nostre esperienze fatte con l'antenna di 1.2 metri usata nei ricevitori "total power" precedenti. La ottima qualità del transito della Luna nel fascio di tale antenna ci fa pensare che una riduzione di 2 o 3 db del livello ricevuto non cambi la qualità dell'osservazione e che, addirittura, si potrebbero accettare anche 6 dB di minor potenza ricevuta anche in considerazione che, dopo tutto, le antenne attive sono due.

Antenne di 1 metro di diametro potrebbero risultare ottime ma accettabili risultati potrebbero essere ottenuti anche con paraboloidi commerciali di 60 cm di diametro, godendo del vantaggio di una loro estrema leggerezza e minima presa al vento.

Per quest'ultime ragioni scegliamo la dimensione di 60 cm che ci permette di fissare in sicurezza le due antenne alla estremità di un profilato di alluminio a sezione quadrata di 6 cm di lato e 200 cm di lunghezza. Il profilato sarà fissato al cavalletto in modo da poter agevolmente orientare tutto il sistema in tutte le direzioni, come richiesto. La struttura rotante è mostrata in fig.27.

La risoluzione angolare della singola antenna è calcolata in 2.4 gradi ma quella dell'interferometro risultante diventa di circa 1 grado per cui, considerando che la terra ruota di 15 gradi all'ora, dovremo verificare la presenza di un massimo di risposta ogni 4 minuti. Sufficientemente frequenti anche per il più esigente osservatore!

La fattibilità di un interferometro a microonde, considerate le premesse qui sopra discusse, sembra più che altro dipendere da una questione di elettronica, riducibile alla nostra capacità di far funzionare o no i due LNB con lo stesso oscillatore locale. Infatti gli altri costituenti sono già disponibili o perché usati in precedenza o perché di facile realizzazione.

La prima idea per risolvere il problema è stata quella di disabilitare i due O.L. degli LNB e costruire un O.L. esterno da cui prelevare, tramite due cavi di identica lunghezza, o guide d'onda, i segnali necessari per ripristinare il funzionamento degli LNB.

La soluzione è plausibile ma di complicata realizzazione. Mi è allora venuto in mente che il disabilitare gli O.L. non sarebbe stato necessario fossi riuscito a sincronizzarli con le note tecniche PLL (phase locking loops).

Nel caso specifico può essere usata la "injection locking" che consiste nell'accoppiare strettamente i due oscillatori che, per ragioni fisiche abbastanza note, si "metteranno in

passo" oscillando rigorosamente sulla stessa frequenza. Il fenomeno avviene perché, ovviamente i due oscillatori, pur utilizzando un risonatore dielettrico possono, in prima battuta, considerarsi oscillatori "liberi", cioè a frequenza ancora dipendente da parametri fisici esterni e non di già vincolata a reti elettriche di stabilizzazione.

La implementazione pratica di questa soluzione richiede che da ciascun O.L. venga prelevato un po' di segnale, ad esempio tramite una "antennina" interna accoppiata al circuito dell'oscillatore, e reso disponibile su un connettore coassiale come un SMA, alloggiato all'esterno dei due LNB. Il necessario accoppiamento fra i due oscillatori potrà ovviamente avvenire solo tramite un cavetto coassiale che colleghi i due LNB.

La perdita di inserzione di un cavo coassiale a 10 GHz è molto elevata pertanto sarà necessario interporre un amplificatore in modo che all'altro LNB giunga la potenza necessaria per una perfetta sincronizzazione.

Le grandezze elettriche misurate con bolometro sono queste: sui due connettori SMA leggiamo poco più di 1 mW; la potenza disponibile all'uscita dell'amplificatore è di 10 mW che diventano 3 dopo il transito nel cavo, già sufficienti per sincronizzare il secondo LNB.

I due O.L. risulteranno in questo modo molto accoppiati tra loro e saranno costretti ad oscillare sulla stessa frequenza.

Lo schema elettrico e pratico di questa soluzione è mostrata in fig. 28 ove è anche graficata la situazione reale delle frequenze di O.L. misurate sui due LNB. In "A" si vede che le due frequenze, nominalmente uguali fra loro, in realtà differiscono di 4.2 MHz. In "B" si nota che, a causa dell'aggancio di fase, entrambe convergono su un valore comune non lontano dalla frequenza di LNB1 che in questa operazione, grazie alla sua uscita amplificata, forza LNB2 a seguirlo.

La piastra millefori su cui è montato l'alimentatore dell'amplificatore per 10 GHz è fissata, assieme allo stesso amplificatore, all'interno di una scatola TEKO di 80 x 50 mm, sistemata sul retro di uno degli LNB. Per comodità la tensione di alimentazione dell'amplificatore, tramite un forellino di comunicazione, viene prelevata dallo stesso LNB a cui è appoggiato.

La sistemazione complessiva che richiede un po' di attenzione per una qualità non eccelsa della fotocopia, è mostrata in fig.29.

In fig.30 è mostrata la posizione ottimale per posizionare il connettore SMA per il prelievo dell'O.L. Anche in questo caso, essendo la qualità della fotocopia non buona, è richiesta una attenta osservazione.

Per installare i connettori sulla copertura metallica della piastra stampata è necessario smontarla e forarla in una posizione predeterminata e cioè a ridosso della vite che, in fabbrica, è servita a fare la sintonia fine della unità.

Fissato con qualche difficoltà il connettore, al suo centro salderemo l'antennina di prelievo costituita da un sottile filo di rame rigido, lungo 7 mm, posizionato parallelamente alla parete di fondo come si può vedere in fig.31.

Al ripristino della copertura metallica verificheremo che l'antennina venga a trovarsi all'interno della cavità risonante dell'O.L., a lato del risonatore dielettrico.

La reperibilità dell'amplificatore a 10 GHz potrebbe costituire un problema. Nel mio caso è stato facile usare uno dei nostri tanti amplificatori coassiali per microonde inventati e costruiti per essere usati nell'impianto radioastronomico di Medicina nei primi anni '80.

Nella bibliografia verranno citate alcune fonti alternative che potranno fornire a prezzi accettabili l'adatto esemplare.

### 2-3-b) Il ricevitore

Fatta la lunga, necessaria premessa, viene mostrato in fig.32 lo schema a blocchi operativo del nostro interferometro a somma.

Si notano i due LNB modificati uniti dalla linea coassiale lunga circa 4 metri per la sincronizzazione e relativo amplificatore di cui abbiamo appena parlato.

La restante parte del ricevitore utilizza parti a noi già note e disponibili.

Le linee di trasmissione che collegano i due LNB al sommatore sono di identica lunghezza e tagliate dalla stessa matassa di cavo da 75 ohm, per satelliti.

Il sommatore è quello descritto al punto f) del capitolo 2. Il filtro passa-alto vi appare al punto d). L'amplificatore I.F. sarà di preferenza quello usato nel "ricevitore total power selettivo" ma consiglio anche di provare la soluzione con amplificatori di linea.

Il detector "AM" è discusso al punto g), capitolo 2.

L' amplificatore d.c. e integratore è già stato ripetutamente impiegato ed è quello mostrato in fig.4. Del display si è già molto detto.

### 2-3-c) Le osservazioni

La risposta interferometrica teorica che ci si attende da un interferometro somma è quella di fig.R6A o R6B con l'ampiezza dei massimi contigui in accordo con quella delle antenne costituenti come indicato con la linea tratteggiata. Se la sorgente radioastronomica non è risolta, come nel nostro caso perché sia il Sole che la Luna sottendono un angolo di 0.5 gradi mentre il fascio del nostro interferometro risulta di 1 grado, i minimi non raggiungeranno mai lo zero.

Uno splendido passaggio del Sole è mostrato nelle fig.R11 e R12, ove si notano risposte non in fase e in fase rispettivamente. L'involuppo all'interno della risposta della singola antenna (total power) appare evidente come il fatto che i minimi della risposta non raggiungono la linea di zero.

Le tracce verticali sono provocate da problemi sulle linee locali e quindi sono estranee alla ricezione.

Ho smarrito analoghi transiti della Luna che viene ricevuta senza problemi, come ci si attendeva. Ciò nonostante va detto che, cavalletto e meccanica di puntamento permettendo, l'uso di due paraboloidi di 1 metro di diametro garantirebbe una qualche miglior prestazione.

## 2-4 INTERFEROMETRO A PRODOTTO

### 2-4-a) Generalita'

La risposta interferometrica del transito di una radiosorgente e' straordinariamente efficace in dimostrazioni didattiche perche' molto "mossa", anche con spazature fra le antenne di solo due metri come nel nostro caso. In particolare e' l'interferometro a prodotto quello che risulta piu' "appetibile" anche da un punto di vista tecnico. Il fatto di vedere la risposta andare sia sopra che sotto la linea di riferimento sul monitor e il non rispondere alle variazioni molto lente del fondo, lo rendono interessante anche da un punto di vista concettuale su cui si puo' proficuamente disquisire. L'interferometro a prodotto di cui si parlera' ora, non e' analogo a quello a "commutazione di fase" che abbiamo usato in VHF.

In questo caso il prodotto vettoriale tra i segnali d'ingresso non e' sintetizzato ma effettivamente ottenuto tramite una "moltiplicazione analogica" realizzabile, amatorialmente e non senza qualche compromesso, con un comune "mixer" passivo purché del tipo doppiamente bilanciato e idoneo ad operare almeno fino ai 2 GHz.

(Professionalmente questa funzione, fondamentale nella ricerca radioastronomica, viene attuata dal "correlatore", un moltiplicatore abbastanza complesso spesso realizzato con tecniche digitali).

Il tipo da me scelto e' costruito dalla Mini Circuits, e' siglato ZEM-4300, costa poco ed opera fino ad oltre 4 GHz su entrambi gli ingressi. L'uscita prodotto, dalla d.c. fino ad 1 GHz, e' disponibile sul terzo connettore SMA. A noi, in questa circostanza, interessa la componente continua.

Rispetto all'interferometro a somma, quello a prodotto richiede l'uso di due distinti canali di I.F. il che complica un po' la costruzione ma ne vale la pena. La risposta teorica complessiva che prevediamo di ottenere e' quella mostrata in fig.R6C.

### 2-4-b) Il ricevitore

Lo schema a blocchi del piu' semplice interferometro a prodotto per microonde che sia possibile costruire e' probabilmente quello che propongo in fig.33. I componenti critici che debbono risiedere a breve distanza dagli LNB e che sono racchiusi nel tratteggio in figura, possono essere montati in una scatola di alluminio che misura 150 x 120 x 34 mm come mostrato in fig.34. La scatola ("A") e' collegata tramite un cavo multipolare a quella che contiene l'alimentatore che dovra' fornire i +/- 12 V per tutta l'elettronica. Su quest'ultima scatola, che nel mio caso misura 150 x 120 x 80 mm, e' installato anche lo strumento indicatore della uscita d.c. amplificata, oltre al potenziometro per la regolazione dell' off-set. Questa soluzione permette di installare il cavalletto con le antenne e la scatola "A" su una terrazza in vista del cielo e il suo alimentatore, oltre al PC con monitor, in una conveniente stanza anche ad una certa distanza dal cavalletto.

Non vengono fornite informazioni relative a questa seconda scatola perche' ognuno potra' pensarla e realizzarla a suo modo o magari non realizzarla affatto.

Gli amplificatori di linea usati sono standard acquistabili in ogni negozio di TV via satellite e sono previsti per un guadagno di 20 dB da 950 a 2150 MHz.

I 2 filtri passa alto sono stati ripetutamente usati nelle precedenti realizzazioni e comunque sono quelli di fig.18. Ho preferito costruire un nuovo amplificatore d.c. integratore per poterlo inserire nella scatola metallica "A", il piu' vicino possibile all' uscita del mixer per evitare lunghi percorsi a bassi livelli di segnale. Per la stessa ragione ho preferito installare i comandi del guadagno e della costante di tempo nella stessa scatola "A" anche se sarebbe stato piu' comodo averli "in casa" invece che su una terrazza lontana. Lo schema dell'amplificatore d.c. + integratore e' comunque ancora quello di fig.4.

#### 2-4-c) Osservazioni

Prima di osservare il cielo ho verificato in laboratorio il comportamento dell'interferometro ponendo i soli LNB sul cavalletto, spazati di circa 1 metro e sistemando di fronte a loro ad una distanza di circa 5 metri, una sorgente di rumore bianco a microonde collegata ad una antennina tronco-piramidale. Facendo scorrere molto lentamente la sorgente di rumore di fronte ai due LNB, su una traiettoria parallela alla loro congiungente, ho simulato il passaggio di una radiosorgente attendendomi una risposta con frange simmetriche rispetto alla linea di base come detto in precedenza.

La fig.R14 mostra chiaramente che l' interferometro a prodotto opera correttamente ed e' pronto per osservare il radio-cielo. Un primo transito parziale del Sole e' quello riportato in fig.R15 mentre quello di fig.R16 viene citato per dimostrare che anche con una delle antenne parzialmente ostruita per l'ombra di un muro, le frange hanno luogo lo stesso.

Un bellissimo transito della Luna e' mostrato in fig.R17 in cui la simmetria della risposta non e' pero' perfetta per un probabile errore di puntamento. Le righe nere verticali sono generate localmente, non sono di provenienza lunare.

Una curiosa registrazione di un passaggio della Luna e' quella mostrata in fig.R18. Le frange lontane dal centro della risposta ed un certo grado di compressione sono dovute alla presenza ravvicinata del Sole.

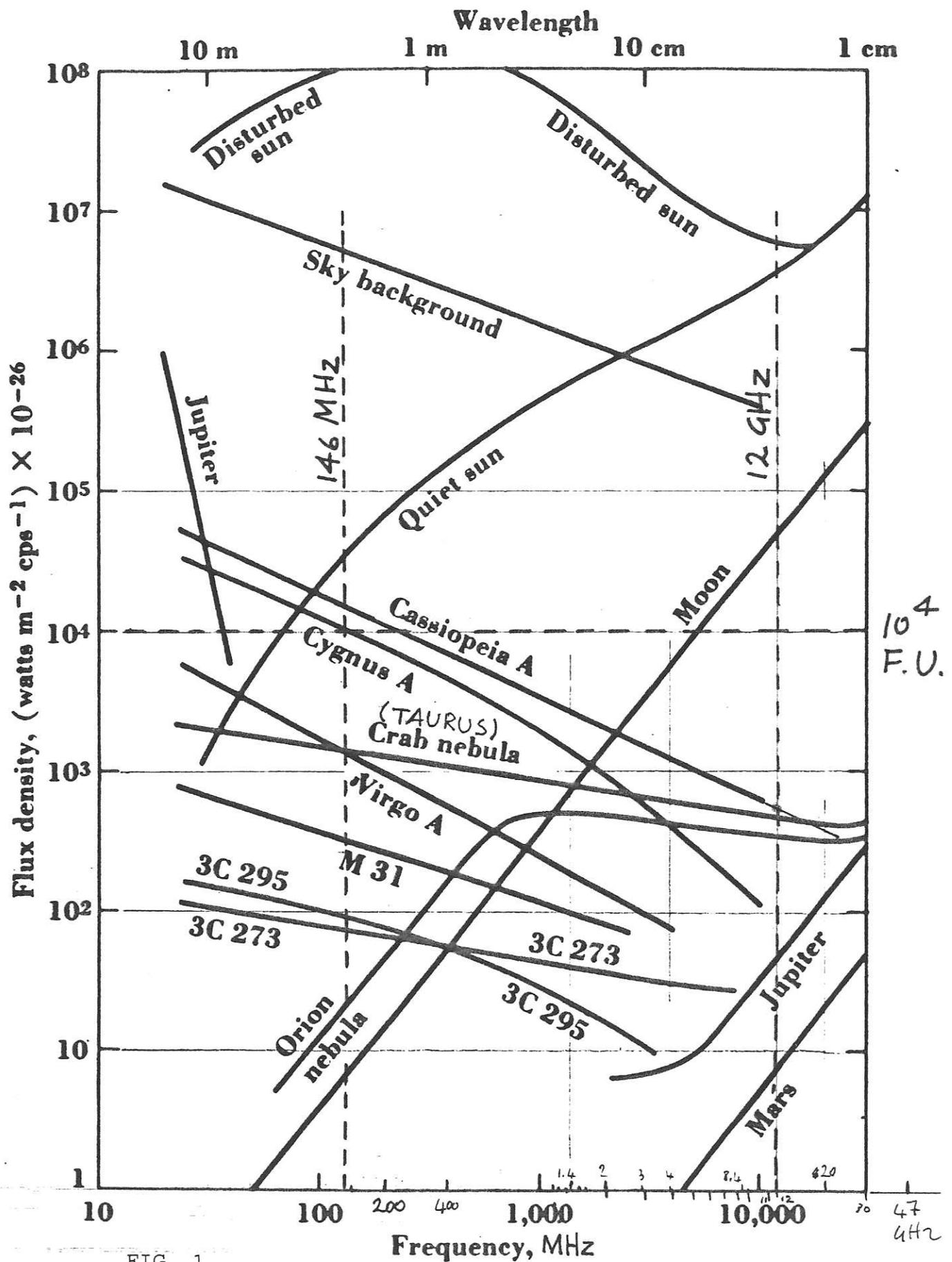


FIG. 1

Grafico delle piu' comuni radiosorgenti. Alcune di queste saranno ricevute dai nostri impianti amatoriali. Sono indicate con linee tratteggiate le frequenze a cui opereremo ed un presumibile limite della nostra sensibilita'.

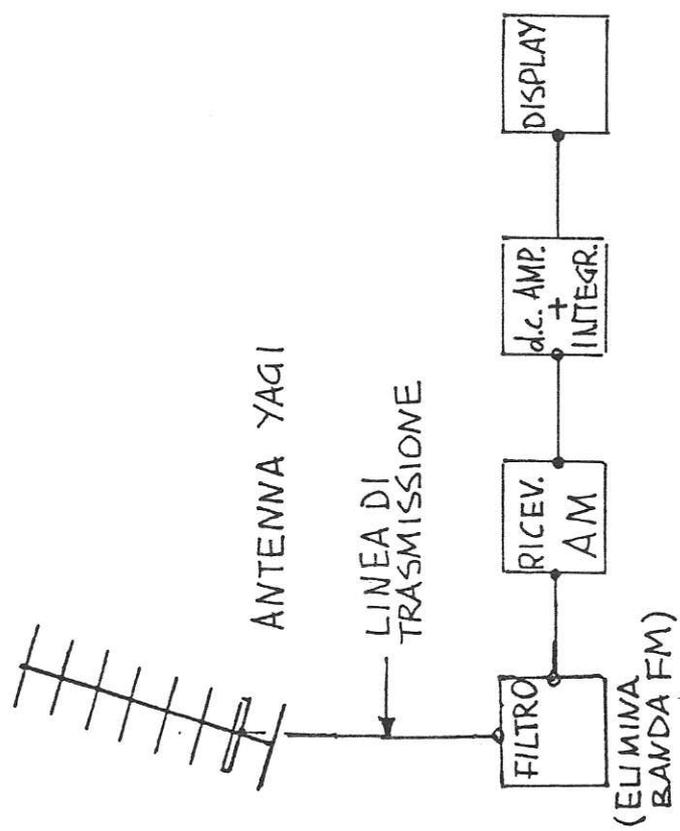


FIG. 2  
Schema ablocchi di un radiotelescopio adatto per  
le prime osservazioni radioastronomiche.

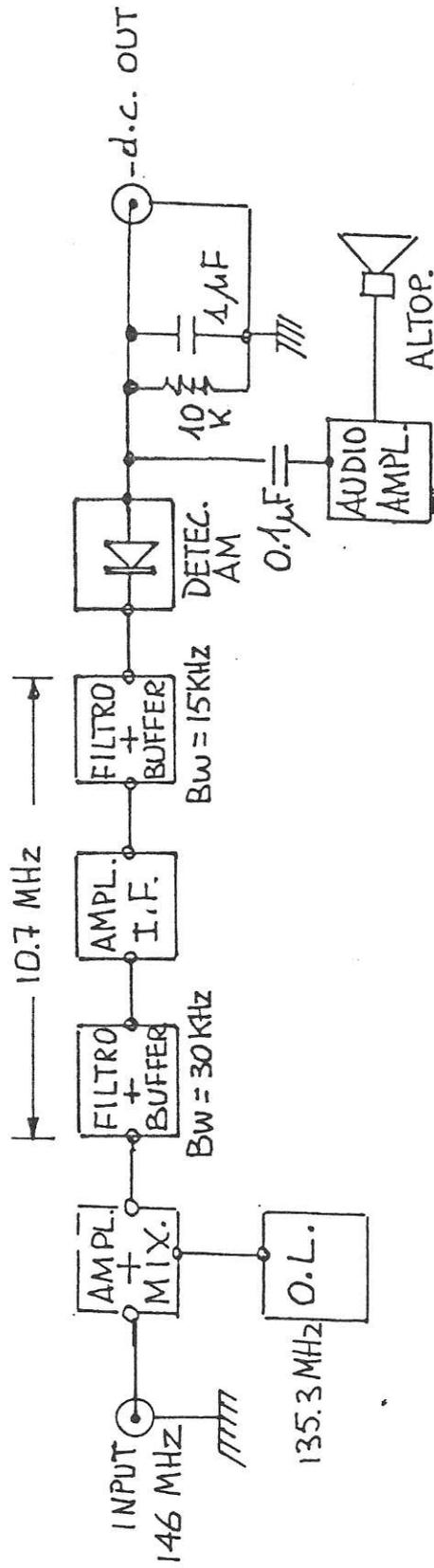


FIG. 3  
 Schema a blocchi del ricevitore radioastronomico per VHF  
 progettato e realizzato dall'Autore.

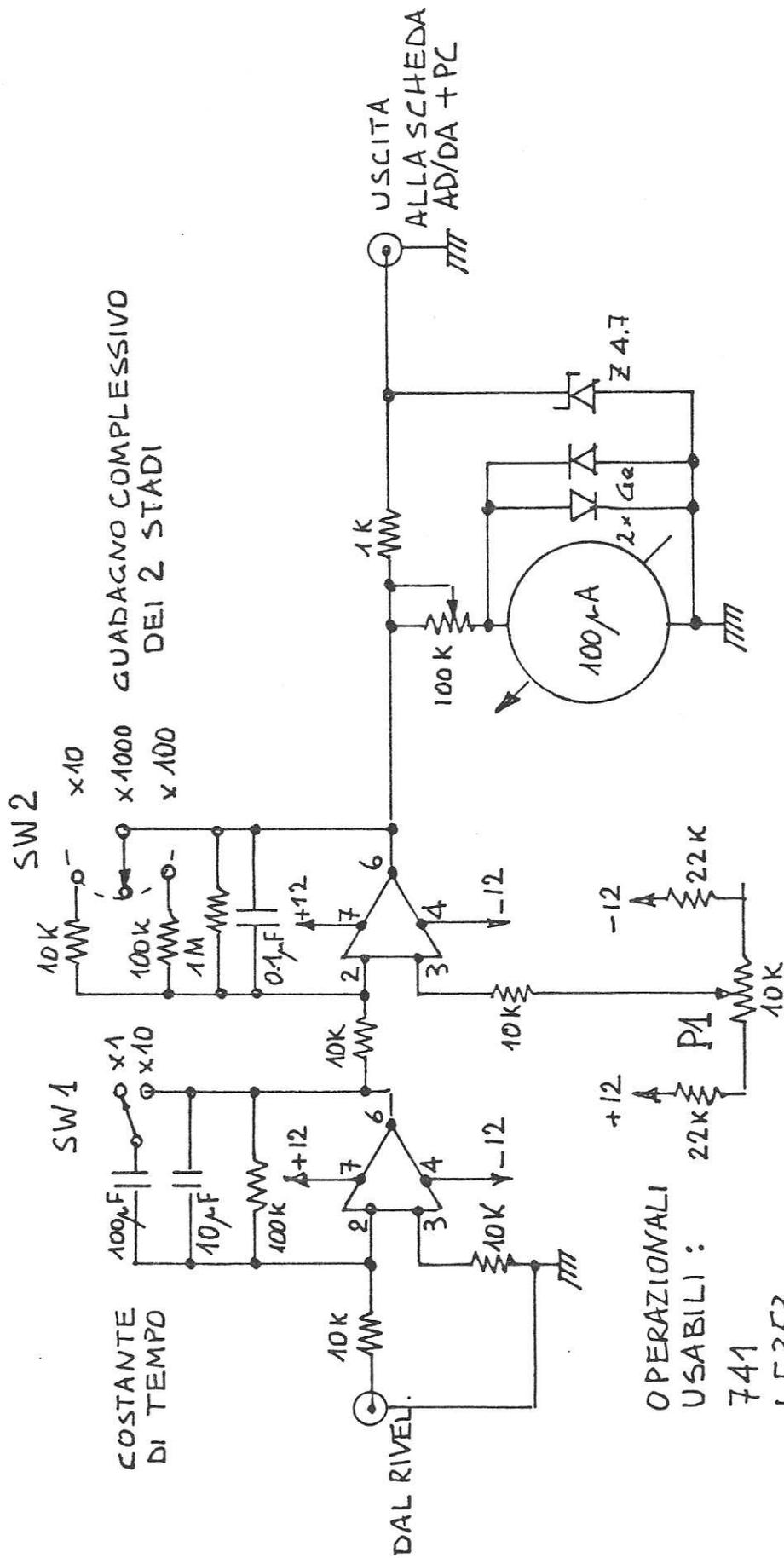


FIG. 4  
 Uno schema universale di amplificatore per la componente continua del segnale radioastronomico. Il guadagno, la costante di tempo di integrazione e l'off-set sono agiustabili dall'operatore.

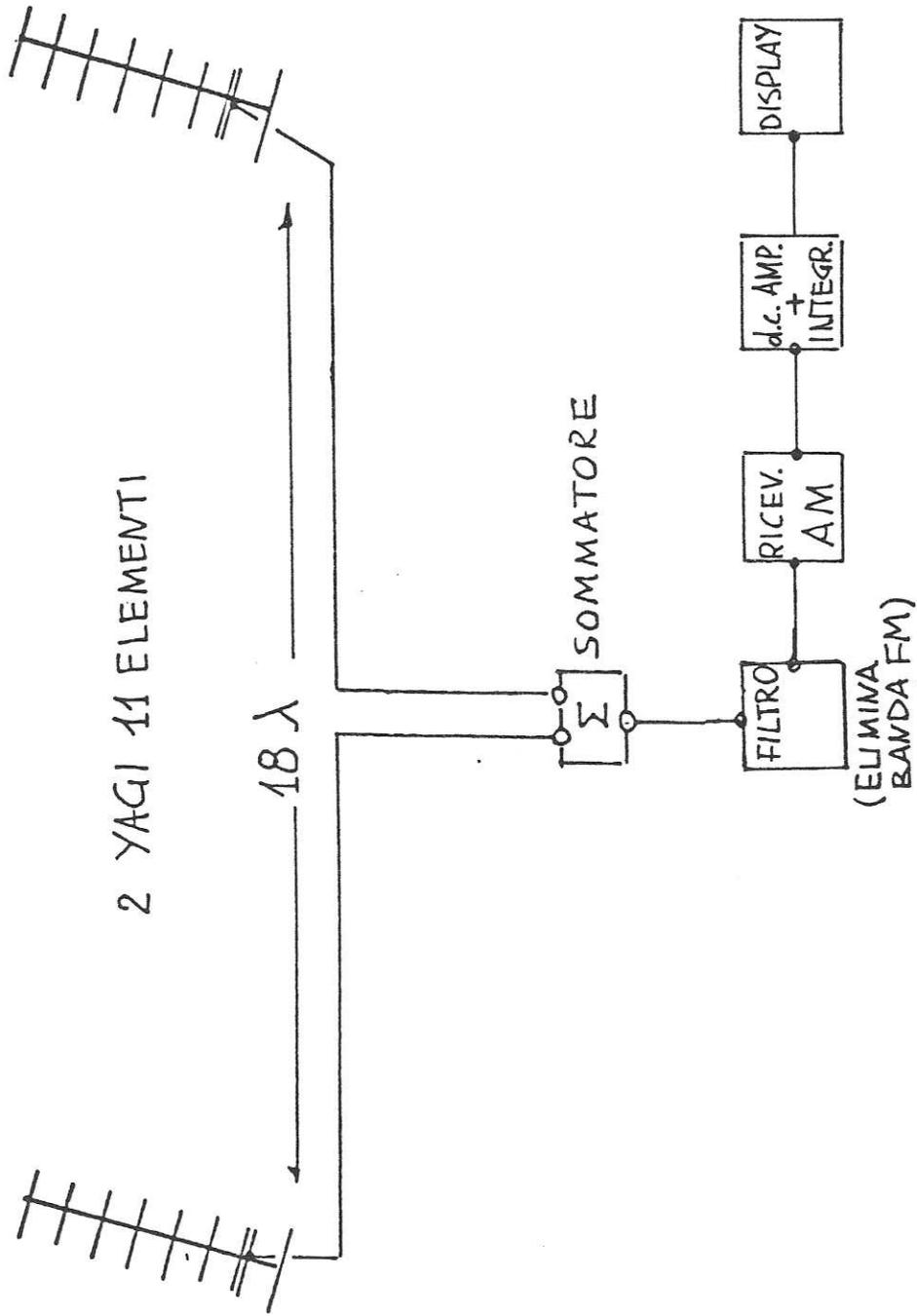
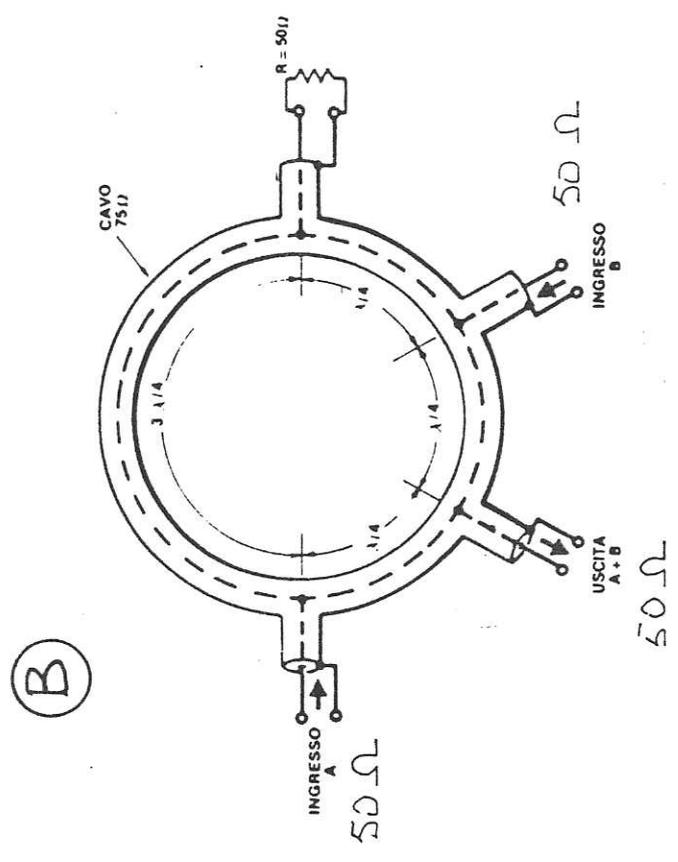
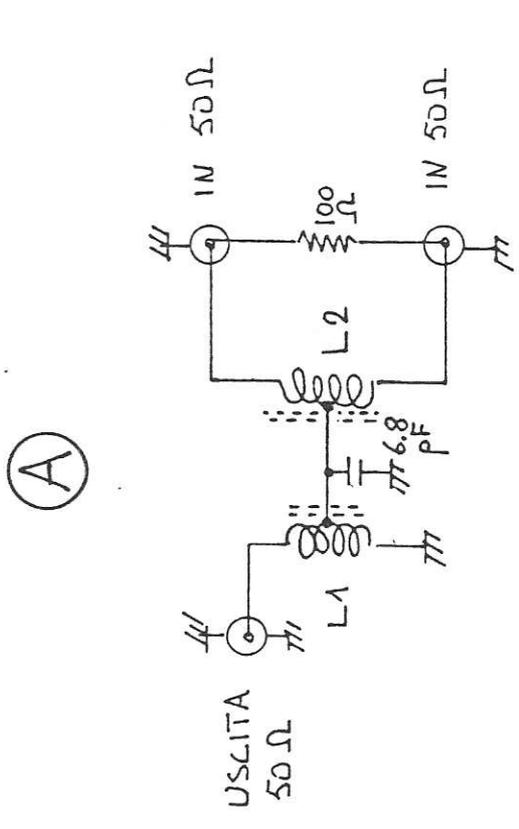
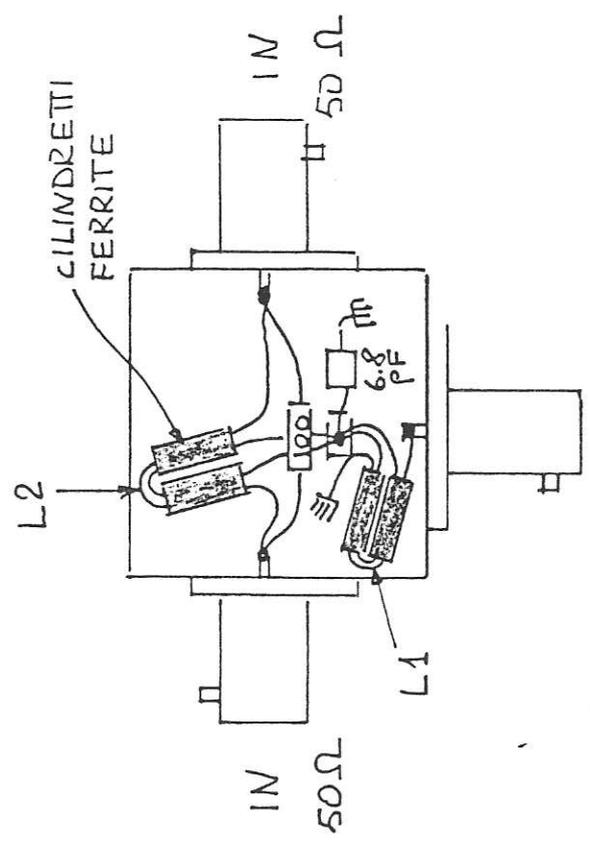


FIG. 5  
 Schema a blocchi di un interferometro somma per VHF



SOMMATORE-DIVISORE AD  
ANELLO IBRIDO



SOMMATORE-DIVISORE A FERRITE

FIG. 6  
Sommatori di segnali: a ferrite e banda molto grande "A"; a banda stretta l'anello ibrido "B".

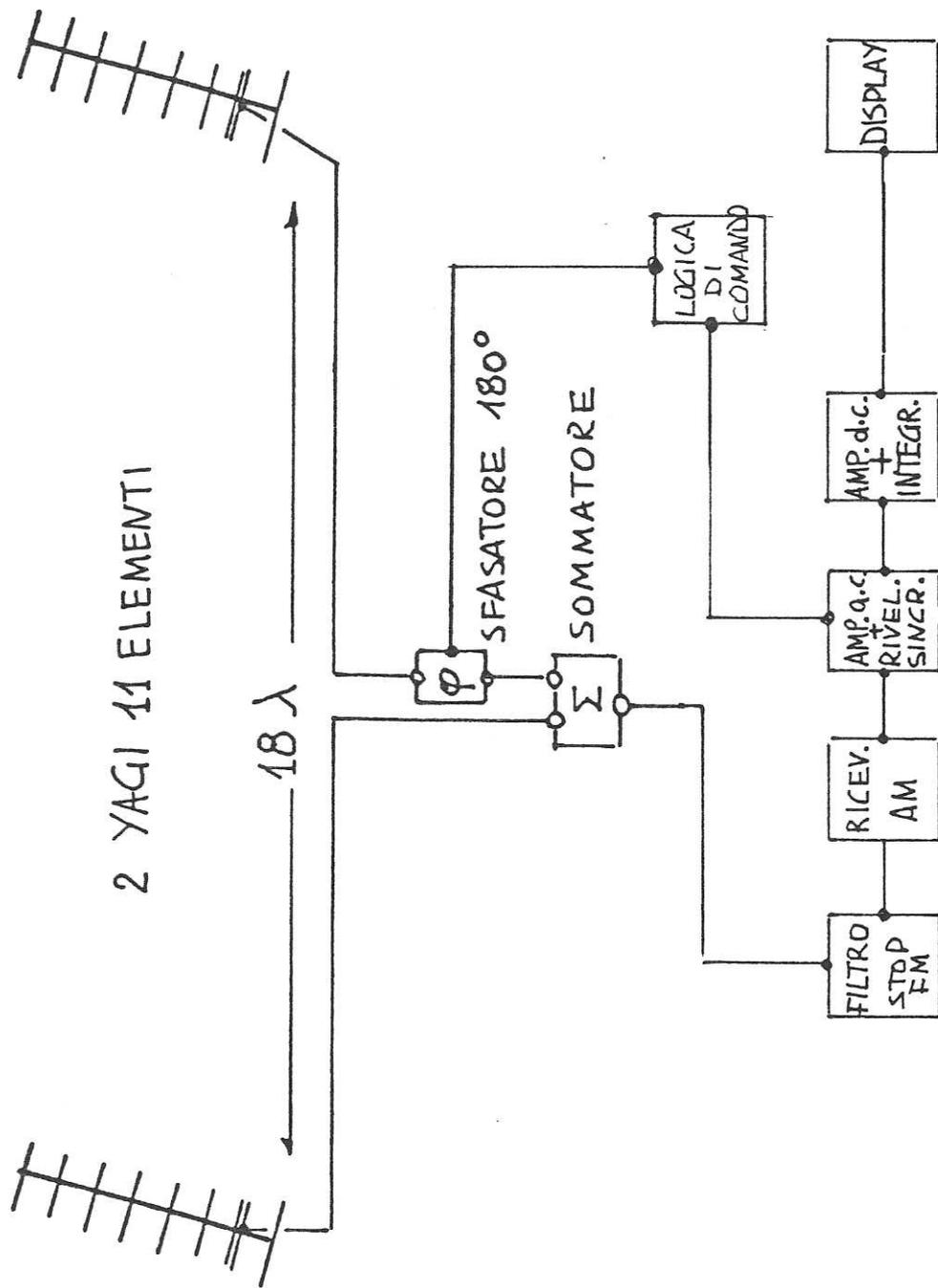


FIG. 7  
 Schema a blocchi di un interferometro a commutazione di fase o di Ryle.

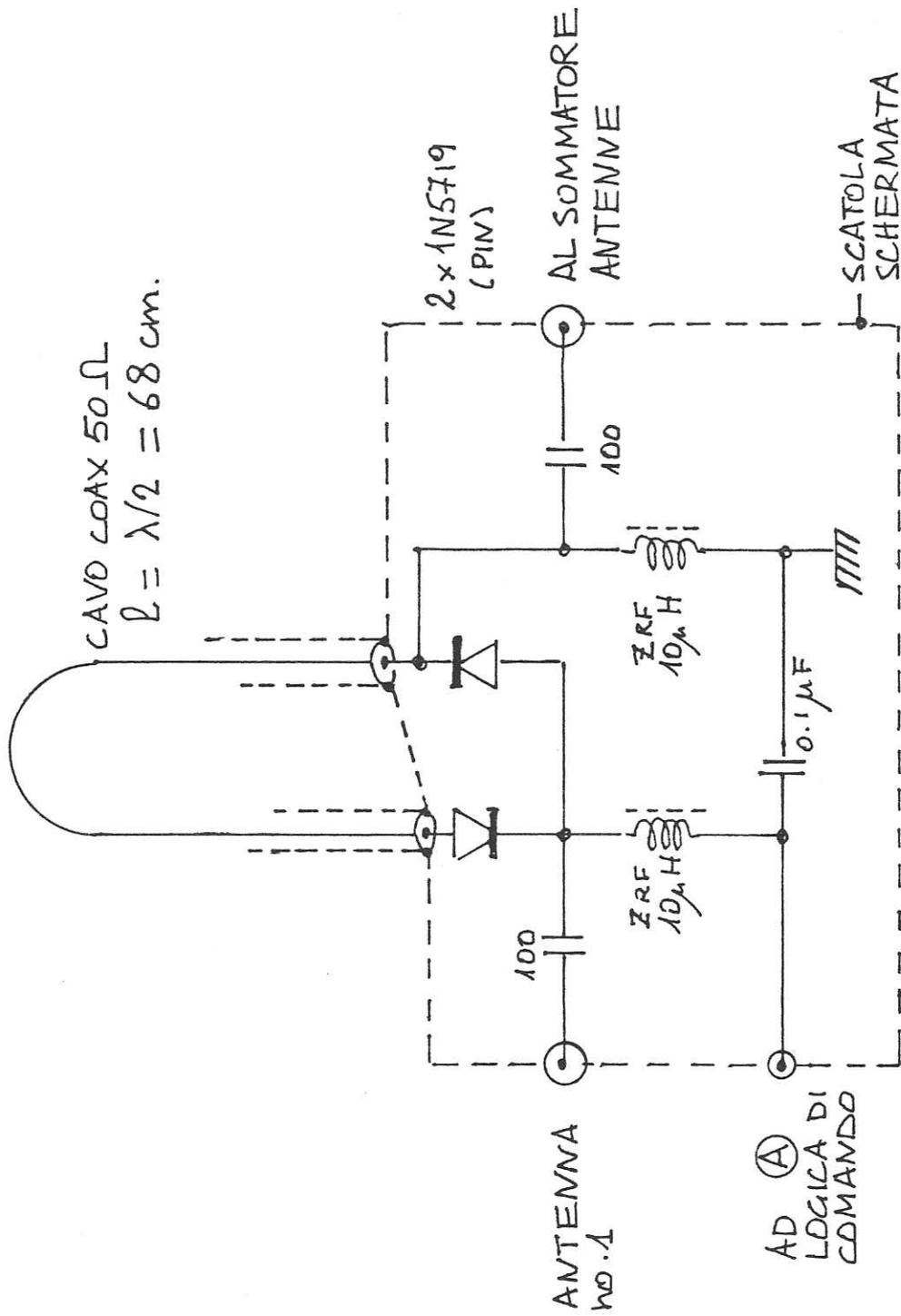


FIG. 8  
 Schema elettrico dello sfasatore di 180 gradi per interferometro. La linea coassiale commutata è lunga  $\lambda/2$  alla frequenza di lavoro.

PREAMPLIF. A.C.

RIVELATORE SINCRONO

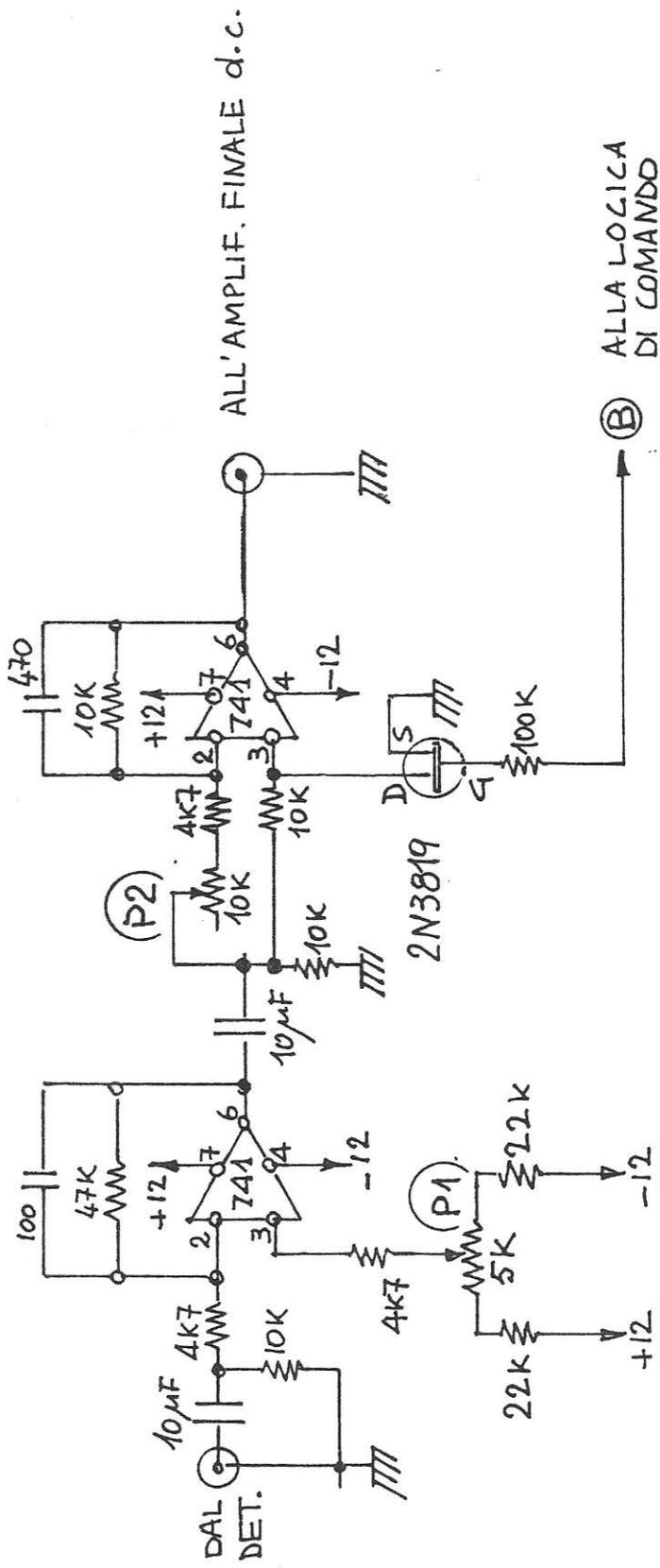


FIG. 9  
Schema elettrico del rivelatore sincrono e preamplificatore usati nelle nostre realizzazioni.

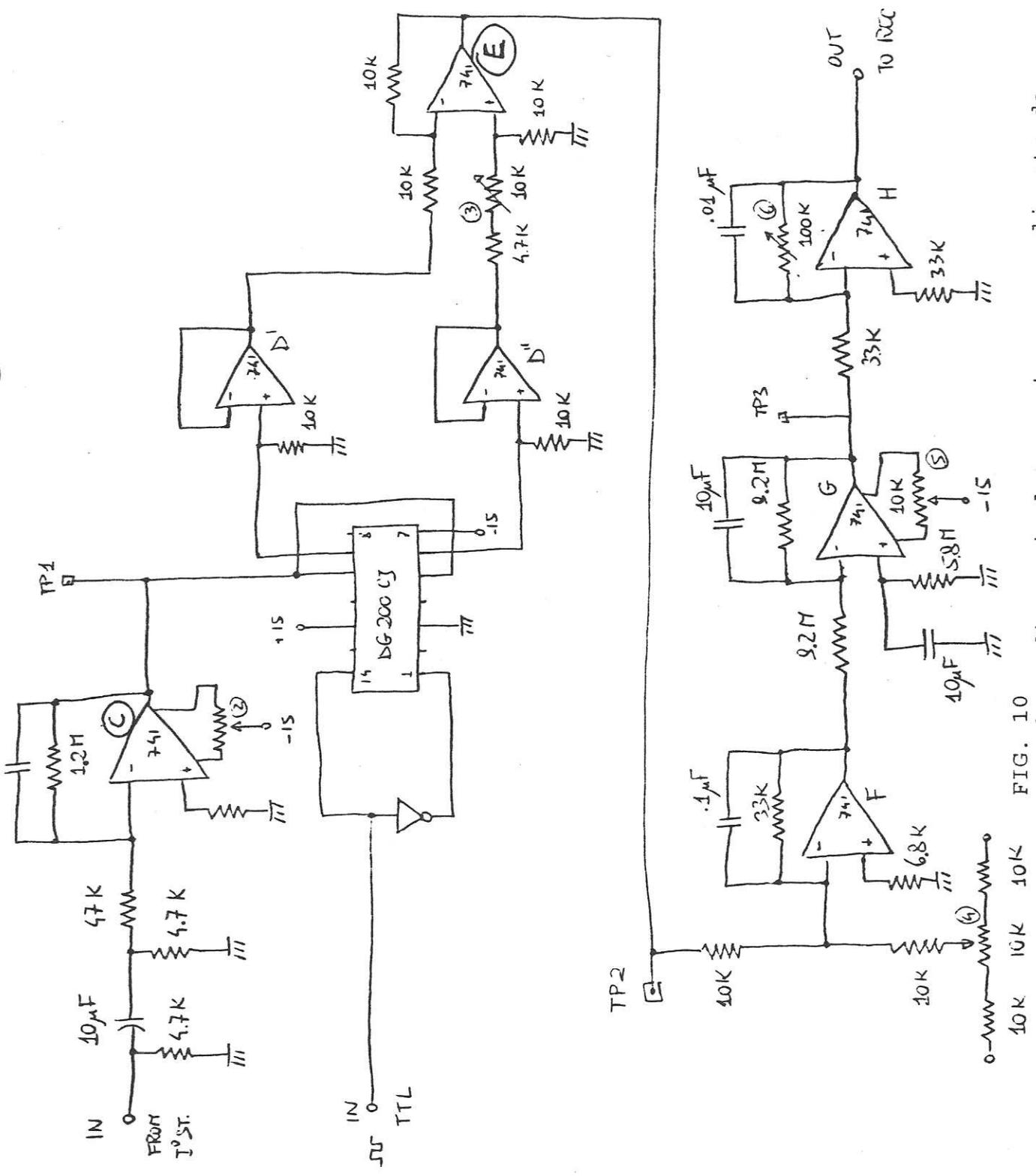


FIG. 10  
 Lo schema di un rivelatore sincrono realizzato da  
 studenti dell'Universita' di Trento.

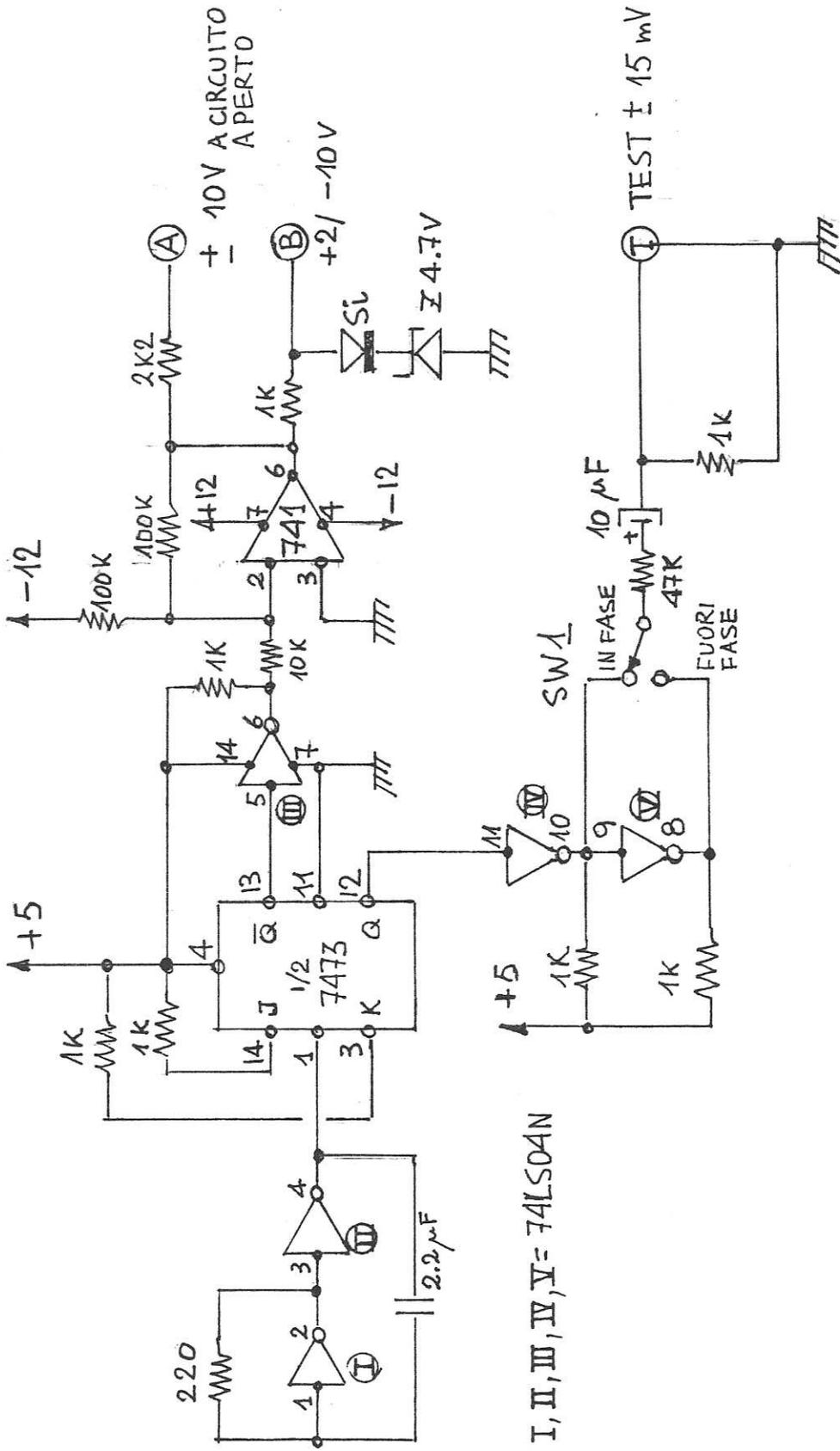


FIG. 11  
 Schema elettrico della "Logica di comando" dalle  
 diverse applicazioni. La frequenza a onda quadra  
 e' di circa 300 Hz.

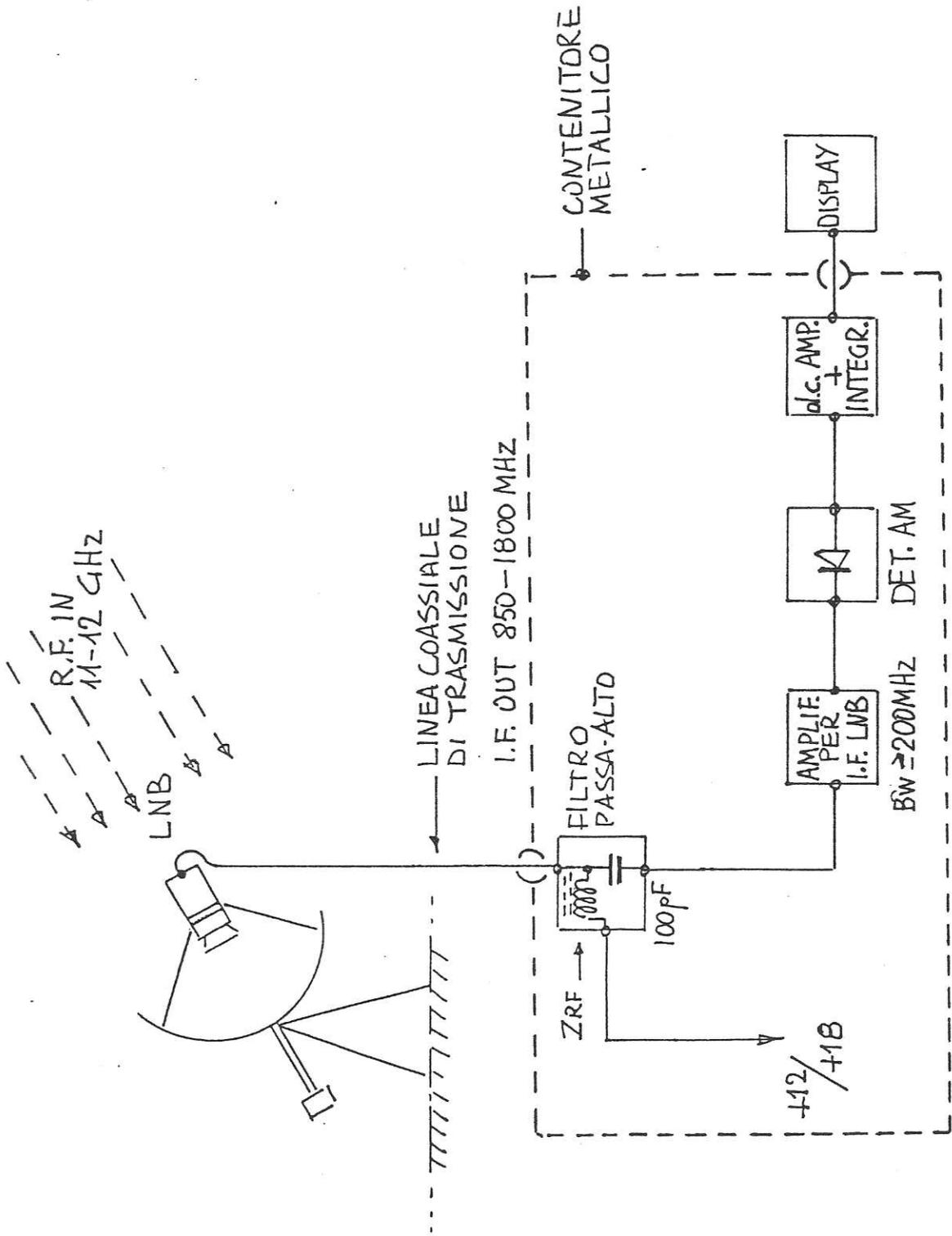


FIG. 12  
 Schema a blocchi di un radiotelescopio "total Power"  
 a microonde. E' previsto un filtro nell'amplif. I.F.

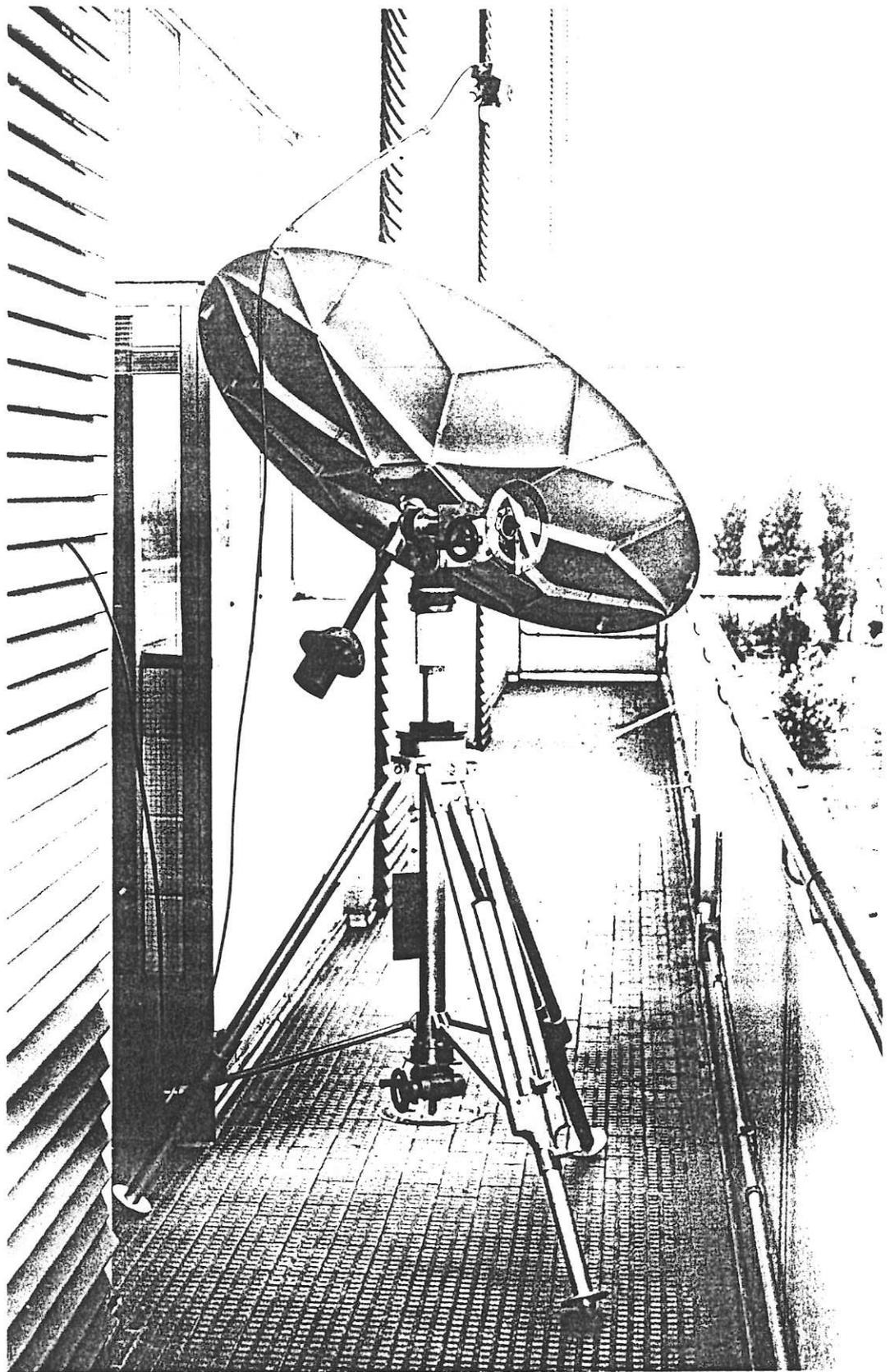


FIG. 13  
La struttura "esterna" del radiotelescopio microonde.

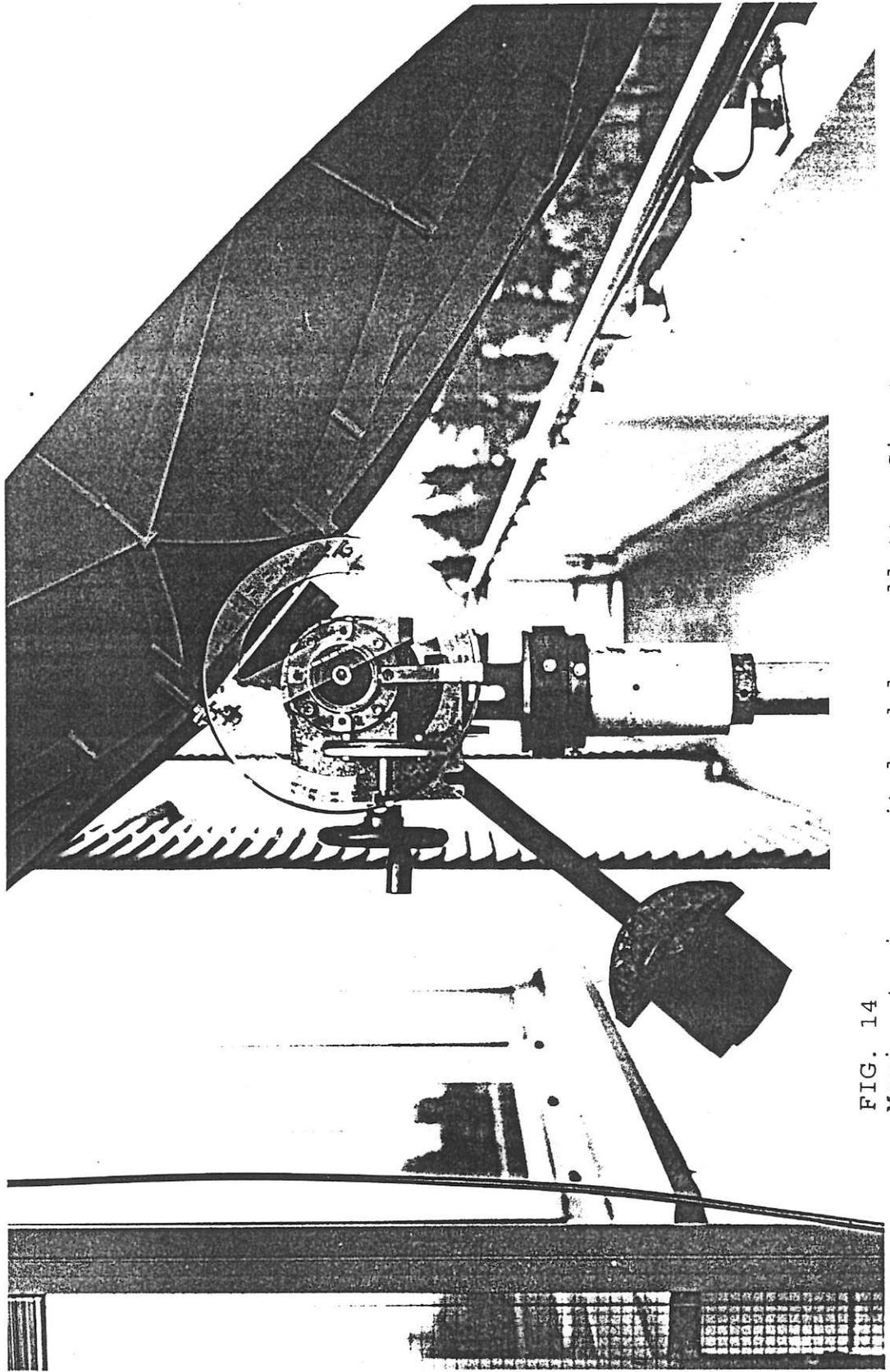


FIG. 14  
Movimentazione zenitale del cavalletto. Si notano:  
il contrappeso, il riduttore meccanico ed il goniometro.

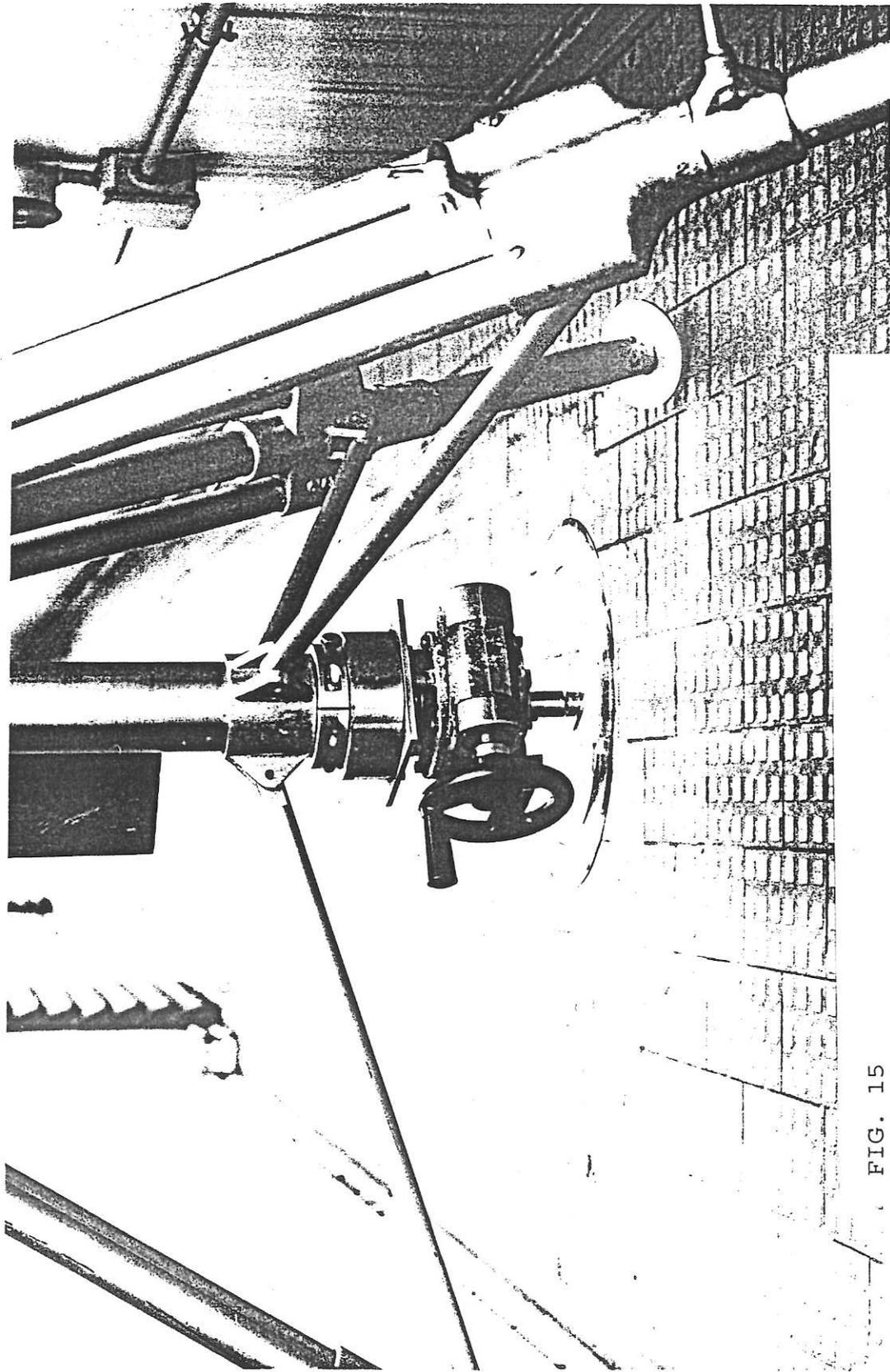


FIG. 15  
Movimentazione azimutale del cavalletto. Si notano  
il riduttore meccanico ed il goniometro.

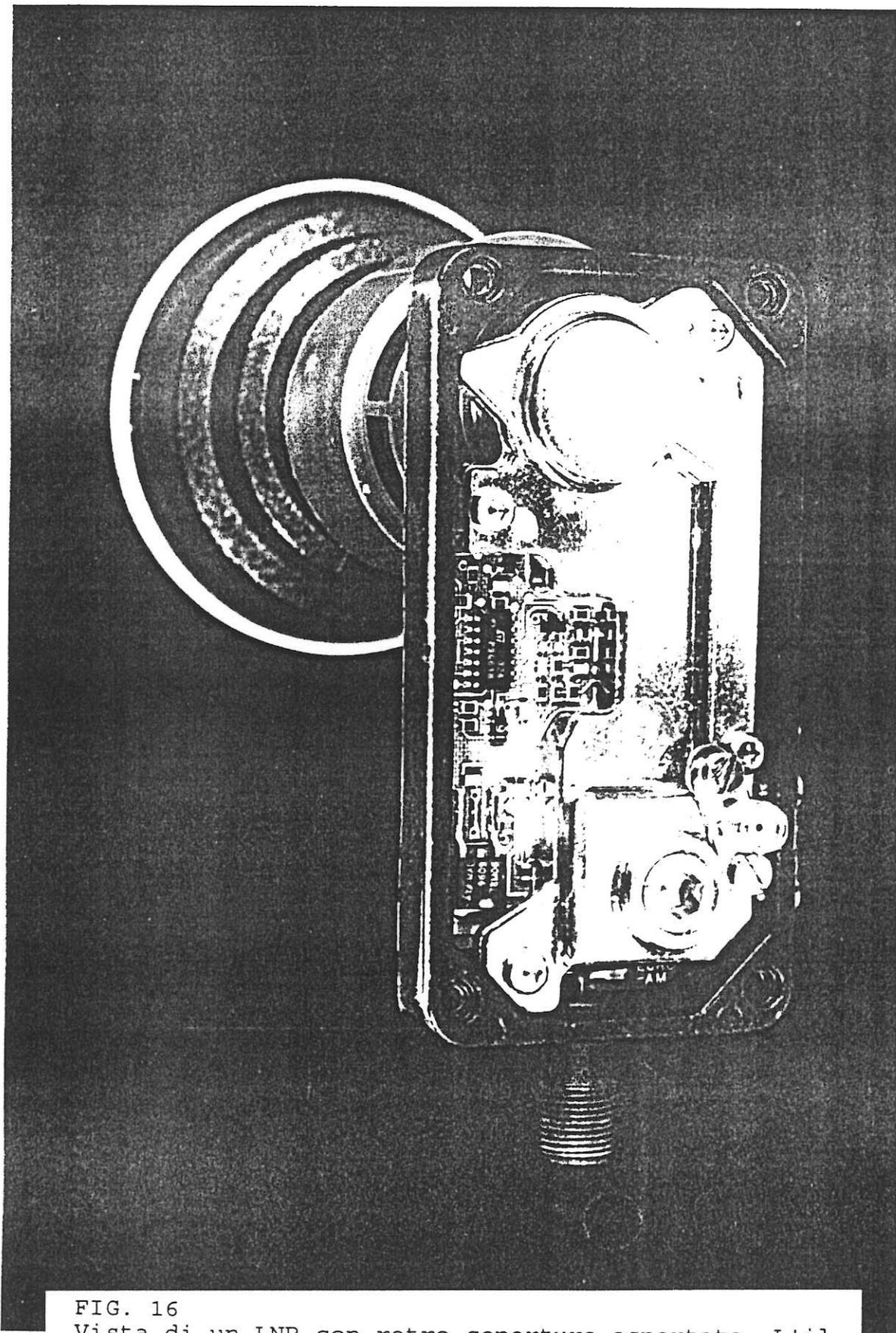


FIG. 16  
Vista di un LNB con retro copertura asportata. L'illuminatore a tronco di cono anteriore va posto nel fuoco del paraboloide.

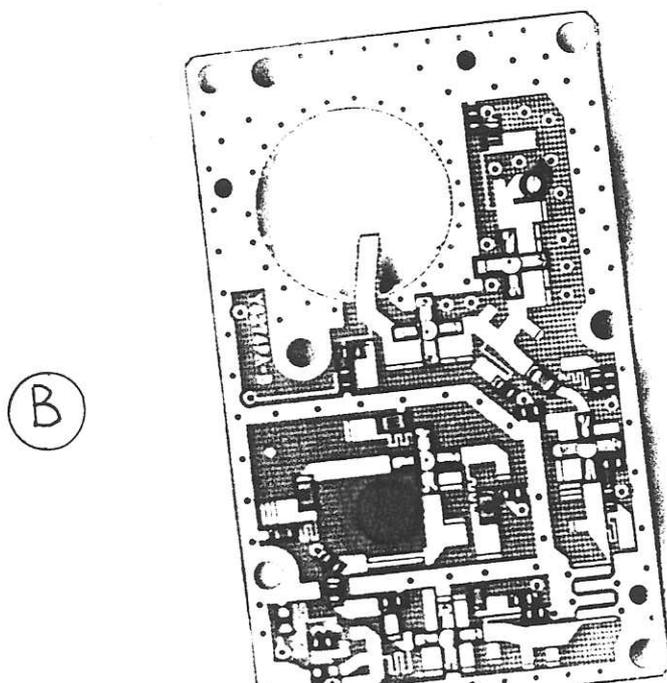
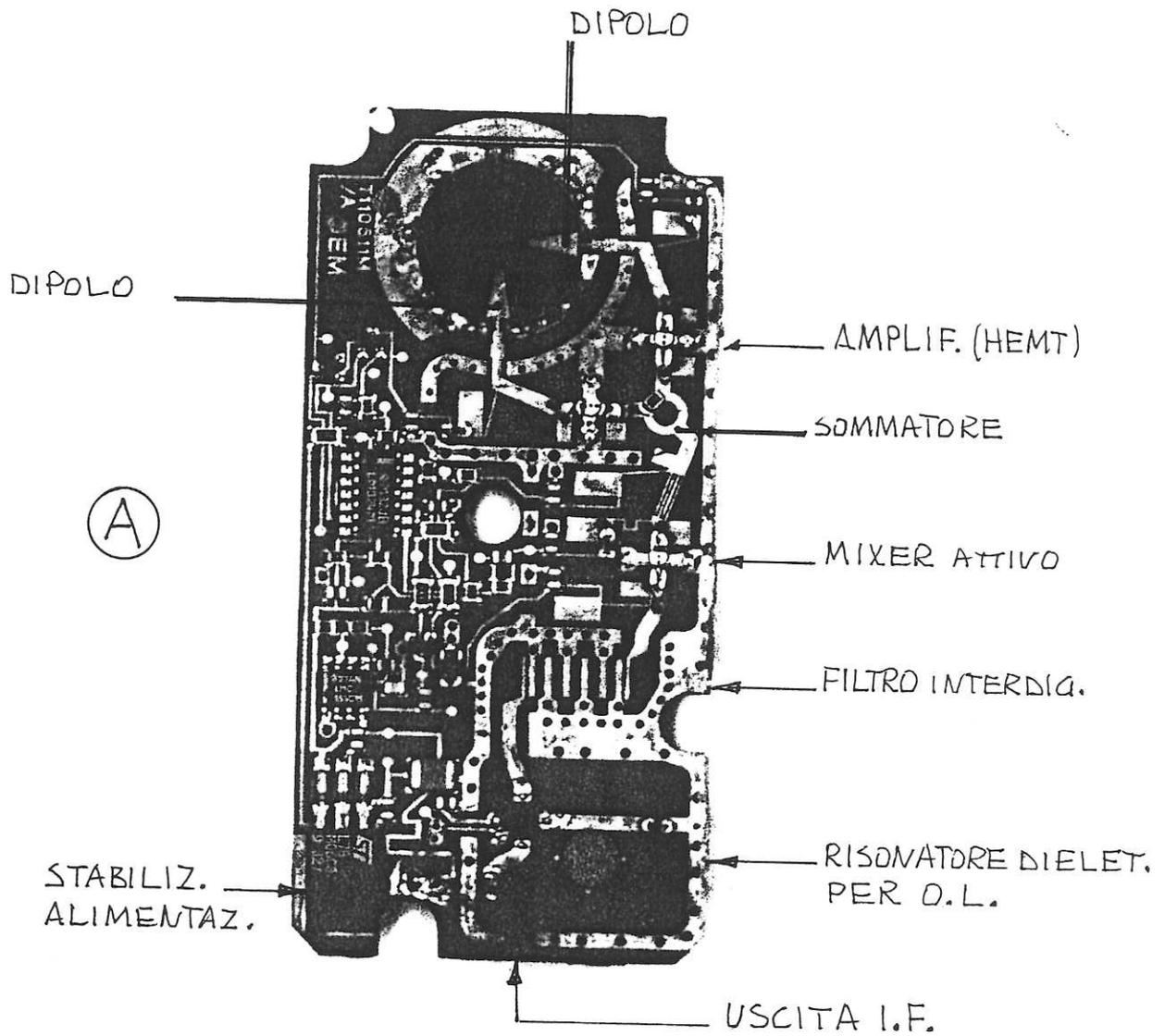


FIG. 17  
 Due diverse ma molto simili piastre stampate di LNB.

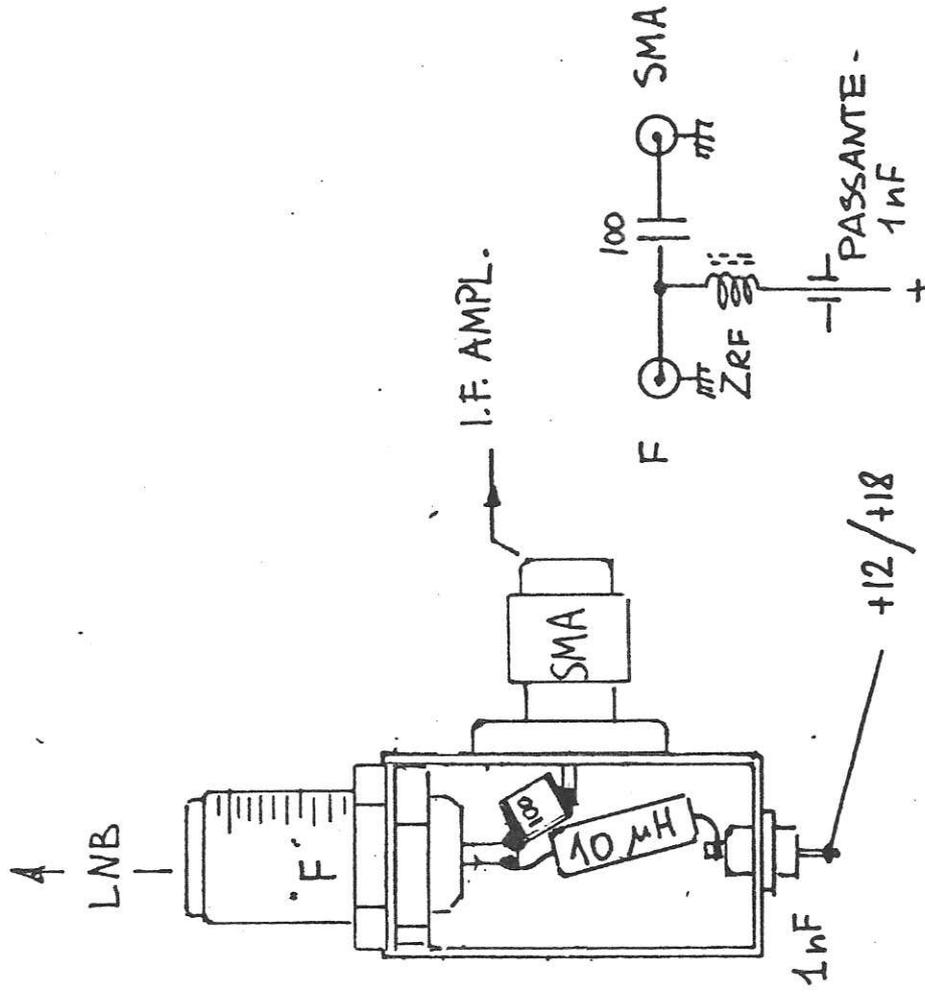
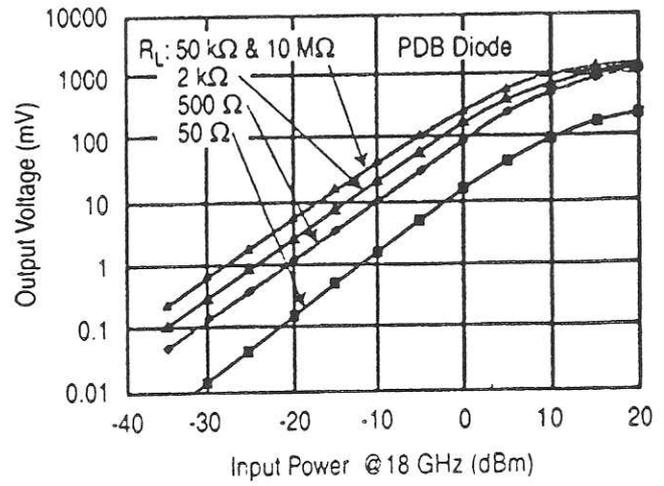


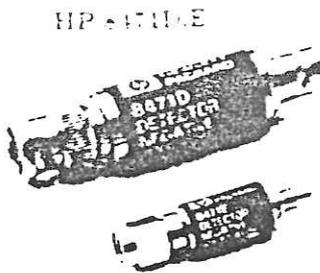
FIG. 18  
 Schema e realizzazione pratica di un filtro passa-alto  
 Il contenitore misura internamente 10x23 mm con una  
 profondità di 15 mm.



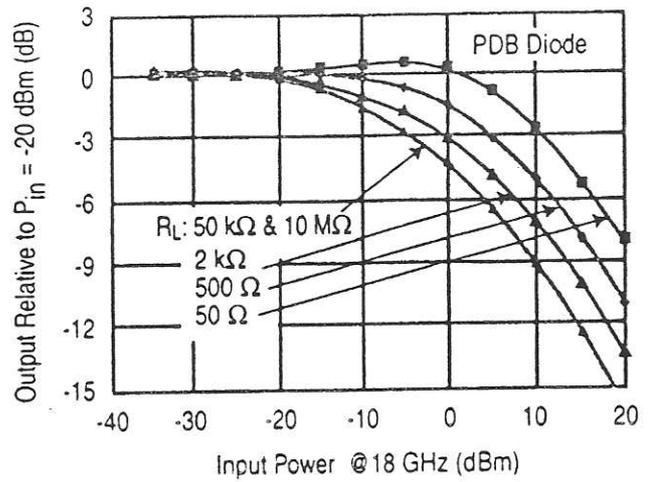
HP 425B



Typical detector square law response (mV).



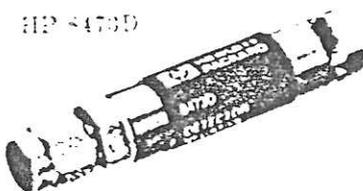
HP 8471DE



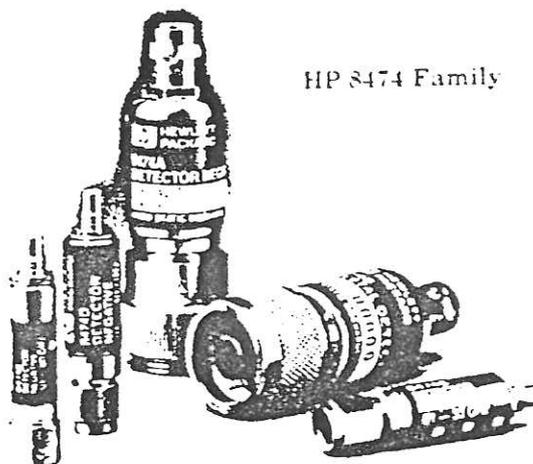
Typical detector square law response (dB).



HP 8472B

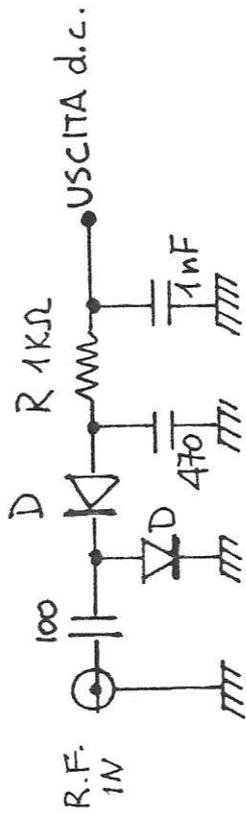


HP 8473D



HP 8474 Family

FIG. 19 Rivelatori coassiali professionali, noti per la loro quadraticita' ed estensione di banda.



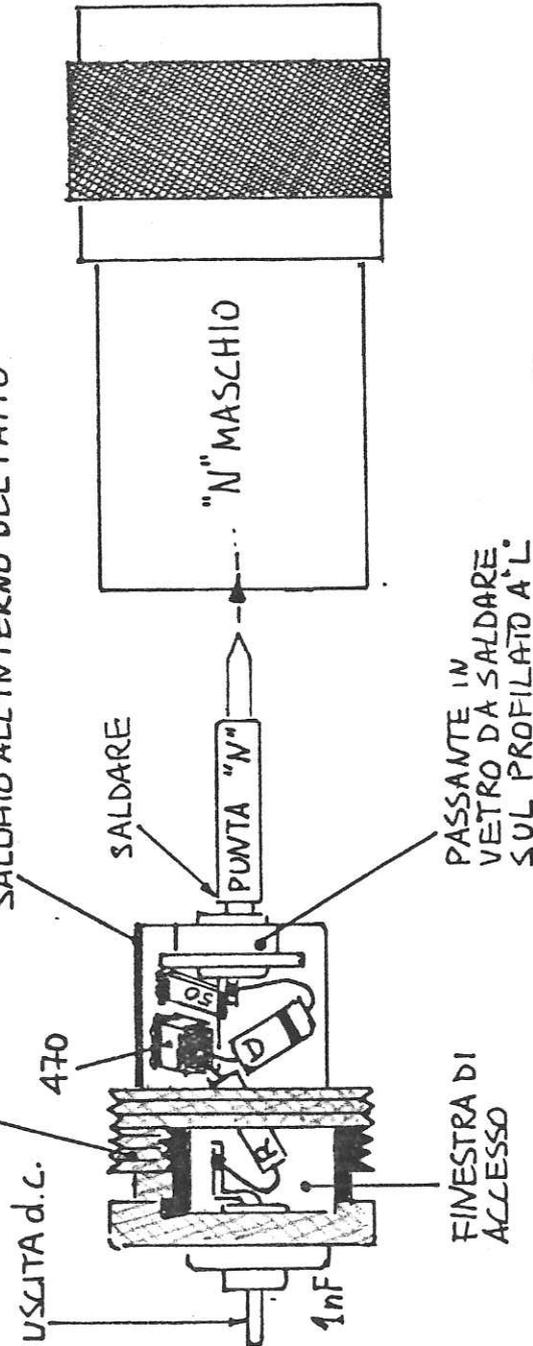
SCHEMA ELETTICO ALTERNATIVO

TAPPO DEL COMM. "N"

PROFILATO OTTONE

A "L" 8x8x1 LUNGO 14 mm

SALDATO ALL'INTERNO DEL TAPPO



USCITA d.c.

470

SALDARE

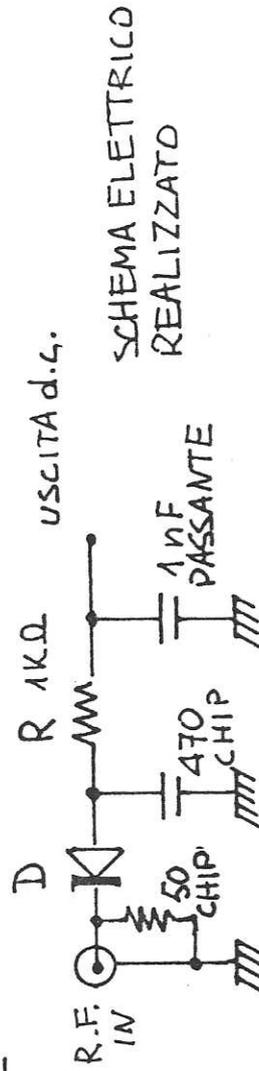
PUNTA "N"

PASSANTE IN VETRO DA SALDARE SUL PROFILATO A "L"

FINESTRA DI ACCESSO

"N" MASCHIO

D = DIODO SCHOTTKY  
(H.P. 5082-2800 ?)  
ZERO BIAS  
(H.P. HSCH-3486 ?)



SCHEMA ELETTICO REALIZZATO

FIG. 20  
La realizzazione pratica, all'interno di un connettore coassiale "N", di un rivelatore usabile fino a 2 GHz.

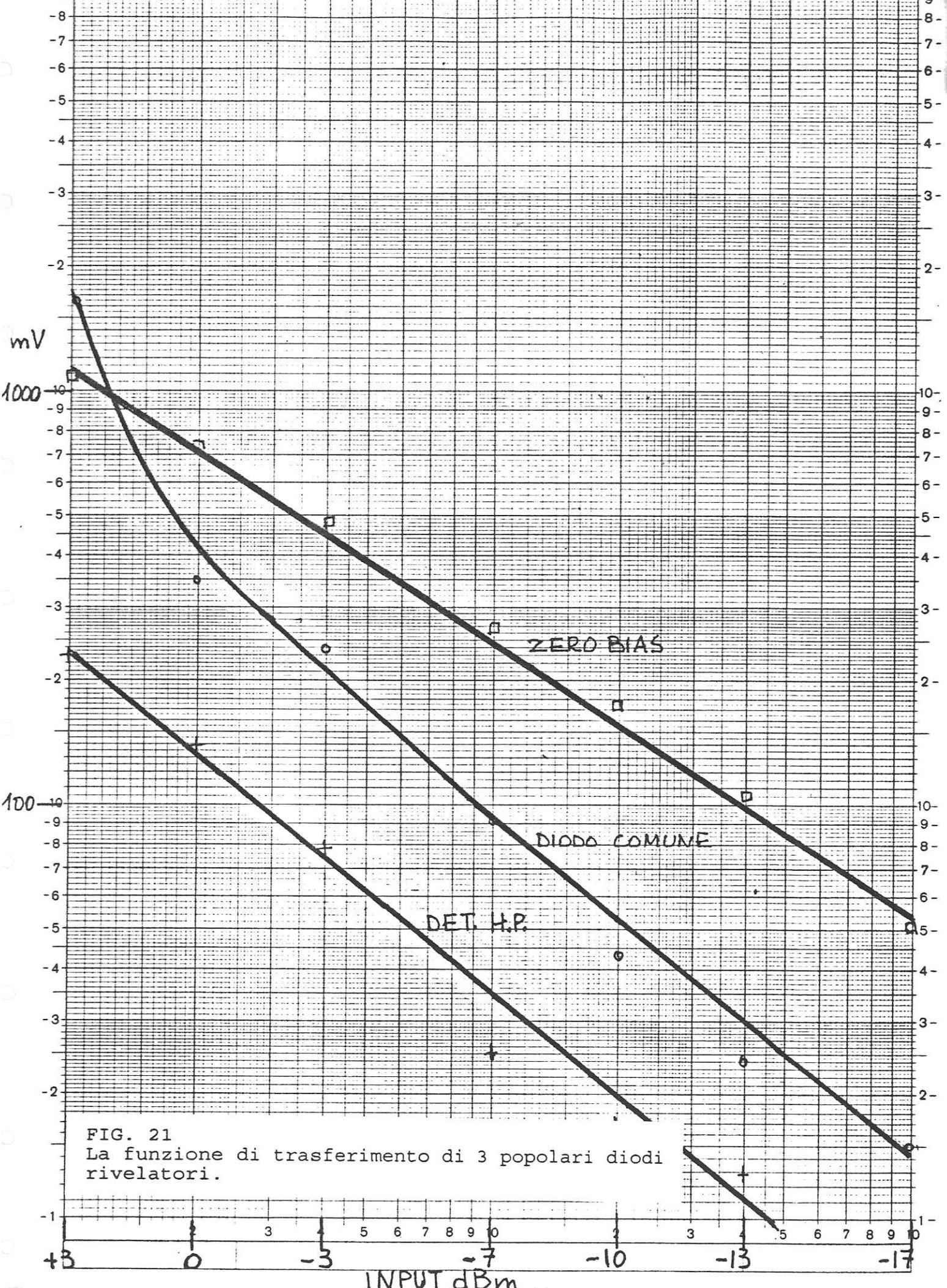


FIG. 21  
 La funzione di trasferimento di 3 popolari diodi rivelatori.

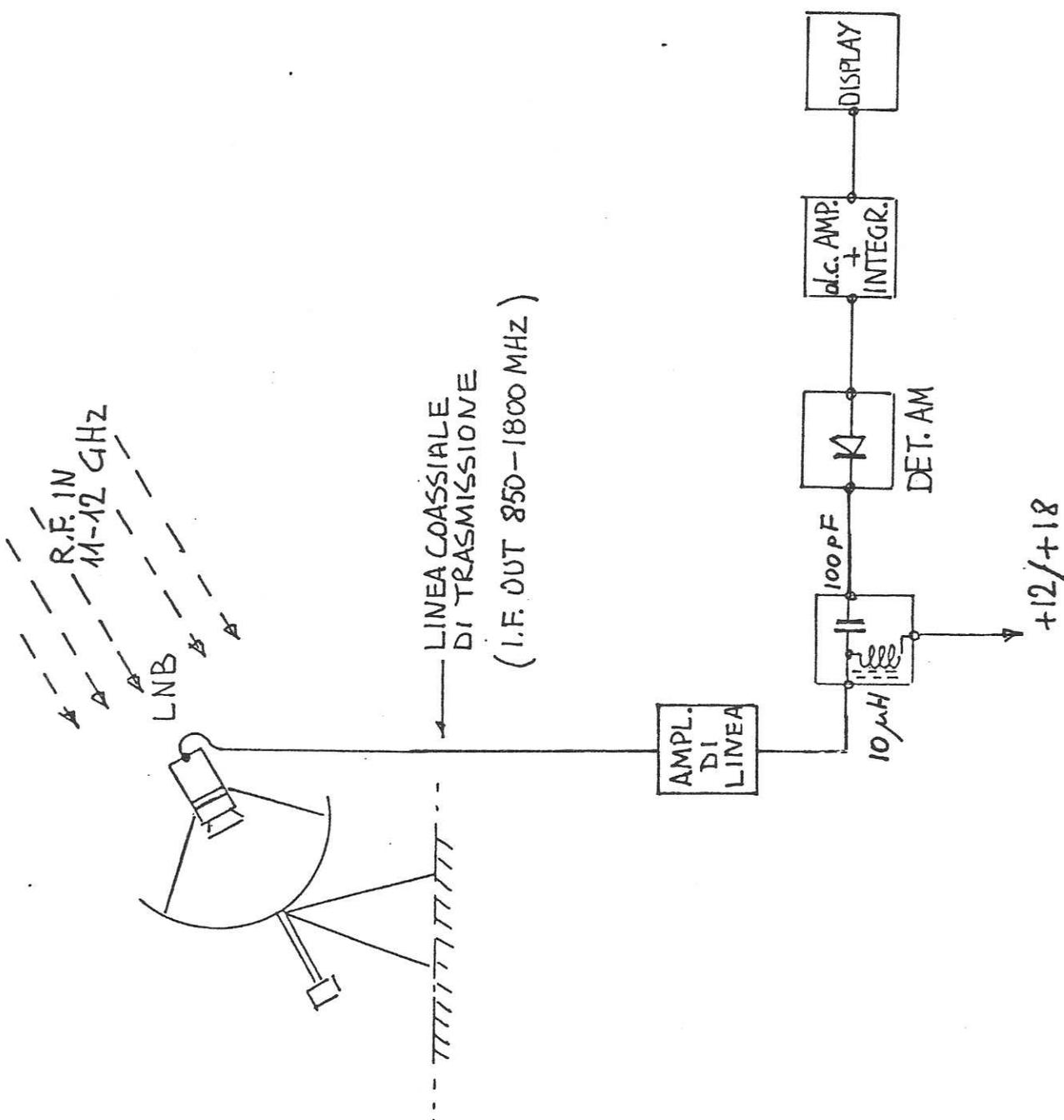


FIG. 22  
 Il piu' semplice e compatto ricevitore "Total Power"  
 per microonde.

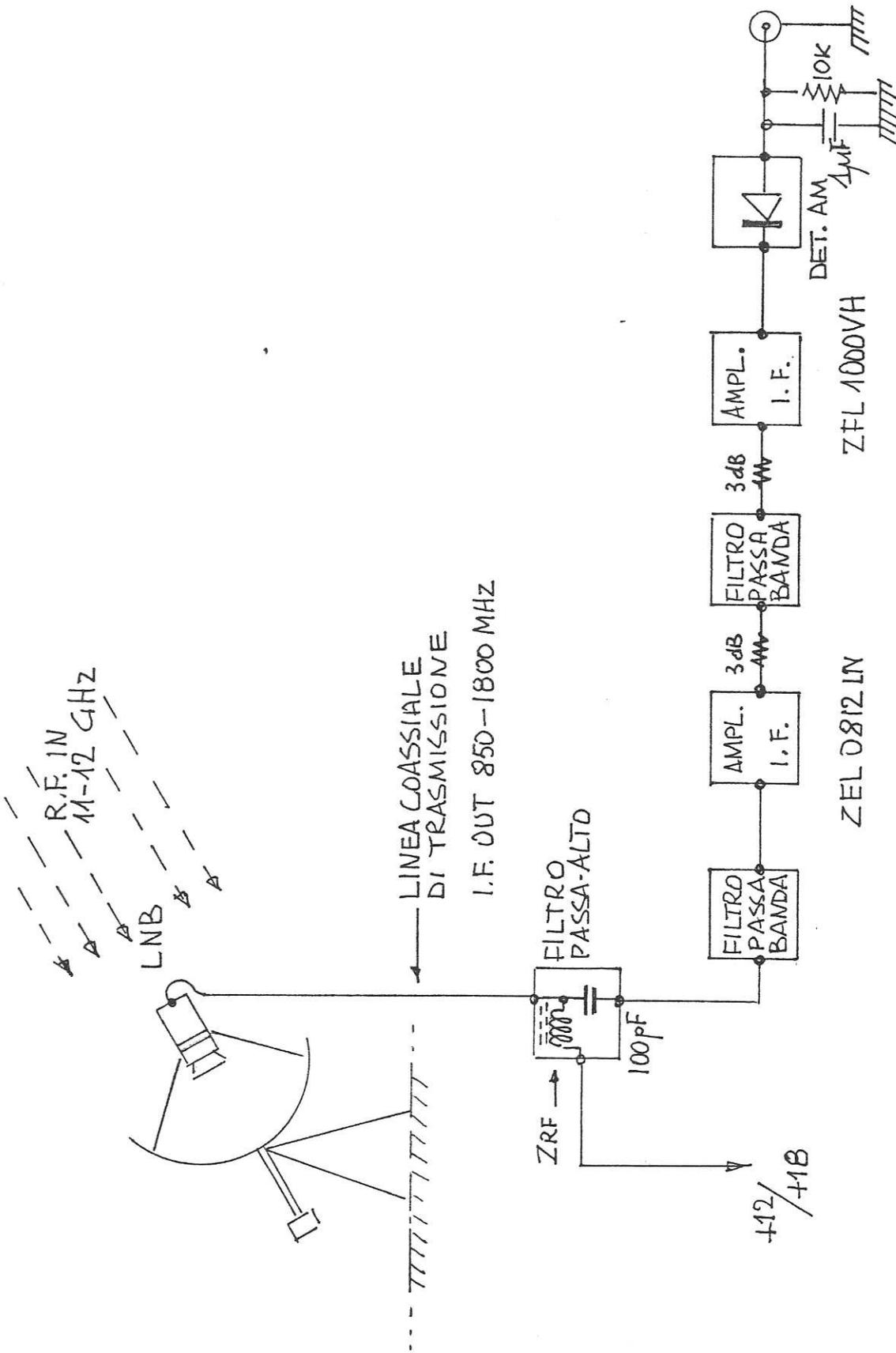


FIG. 23  
 Schema a blocchi del ricevitore "total Power" con un certo grado di selettività nella banda I.F.

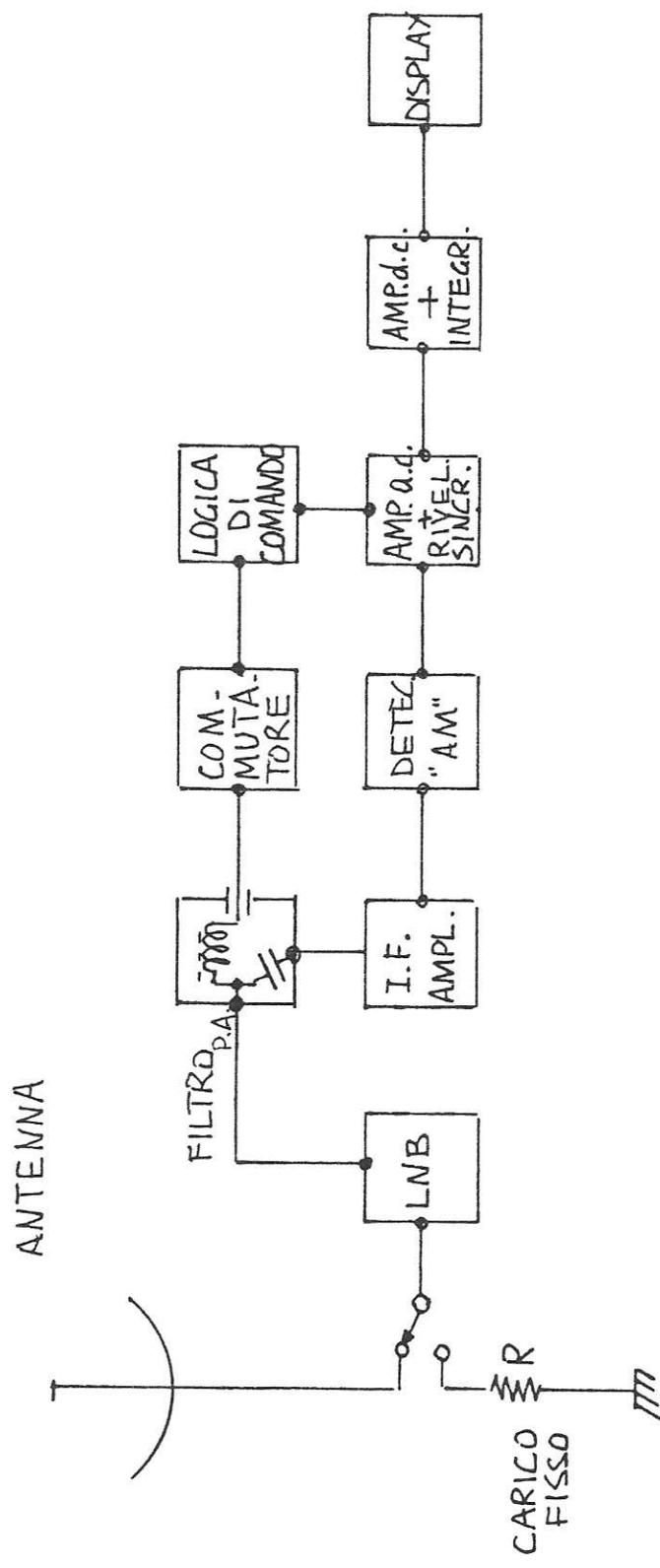


FIG. 24  
 Schema a blocchi del Dicke Receiver, un radiometro di largo impiego professionale.

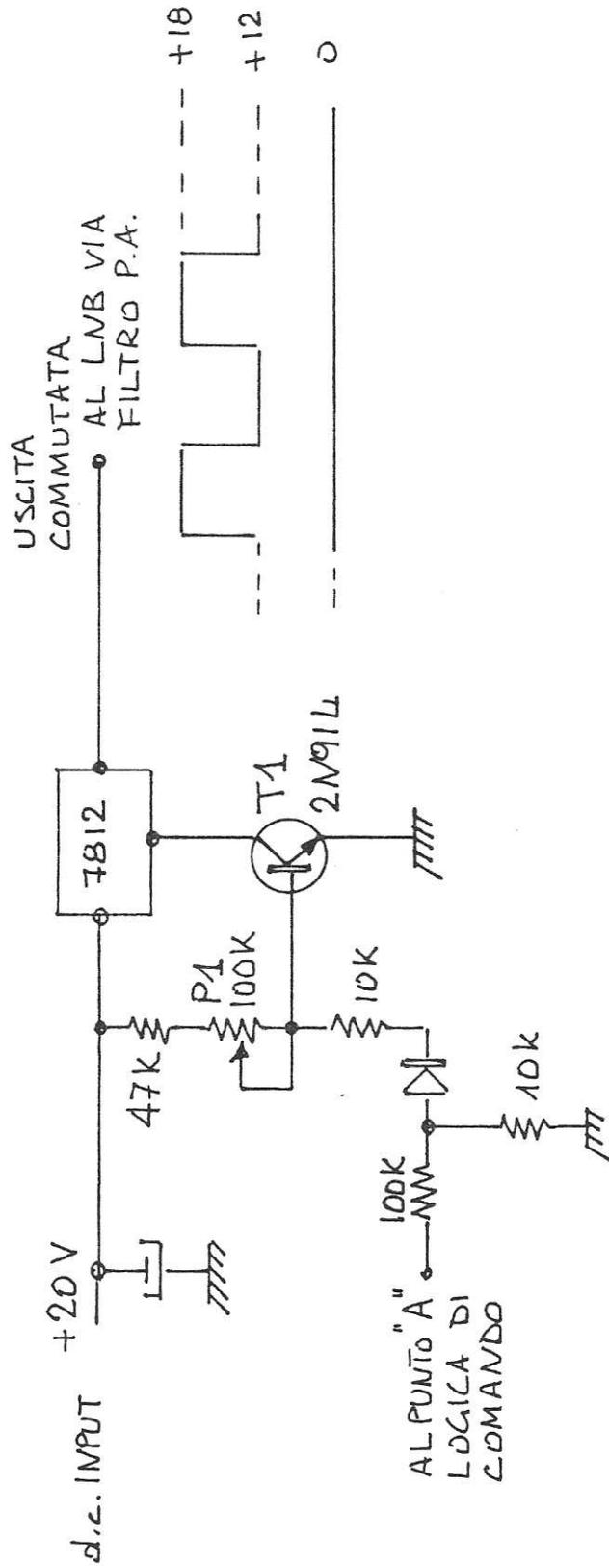


FIG. 25  
 Interfaccia tra logica di comando e LNB necessaria per commutare a 300 Hz le polarizzazioni e quindi i carichi d'ingresso. La corrente verso il LNB e' di circa 150 mA.

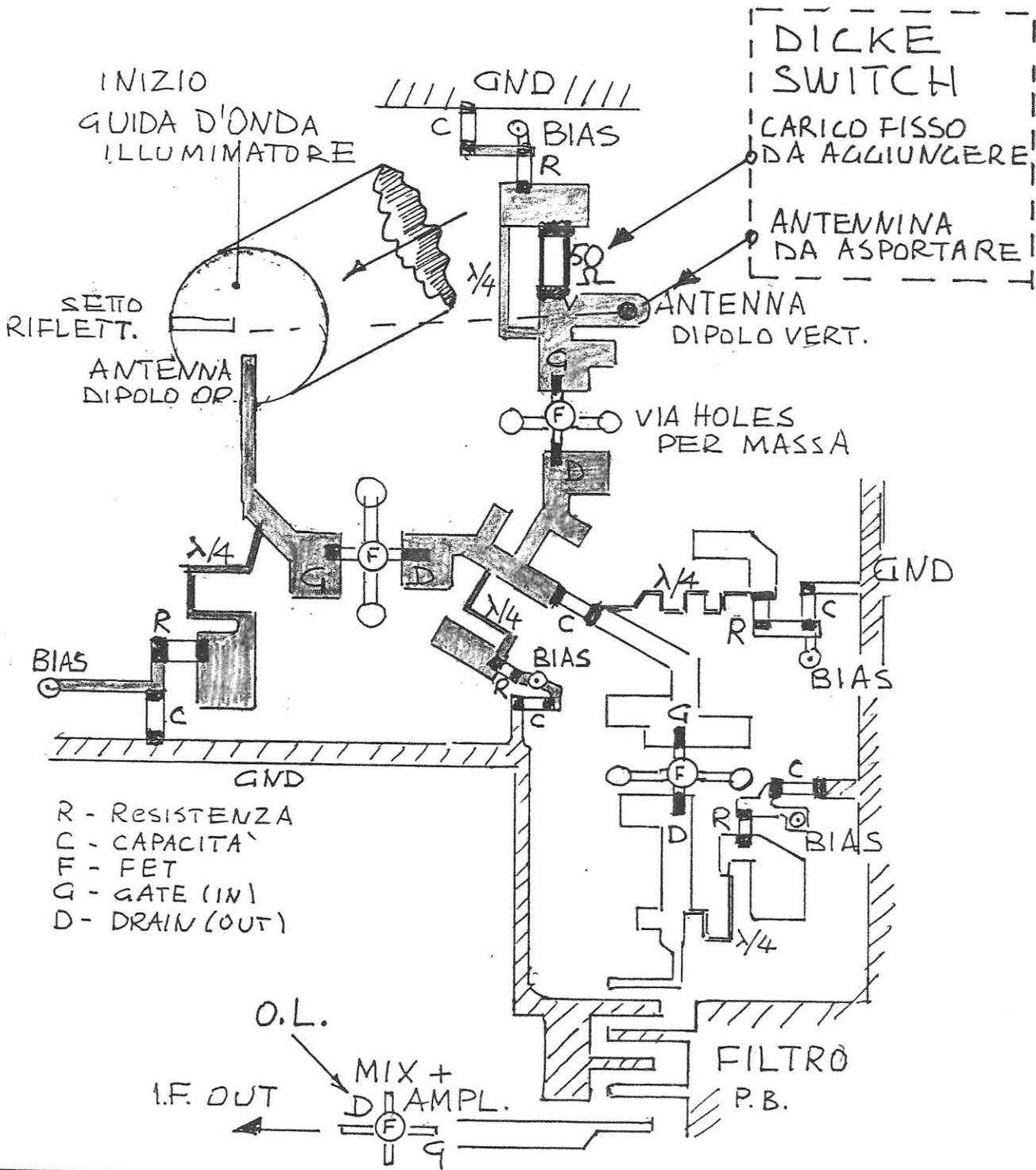


FIG. 26  
 Schizzo di una parte della piastrina stampata di un LNB su cui sono indicate le modifiche per un Dicke Receiver.

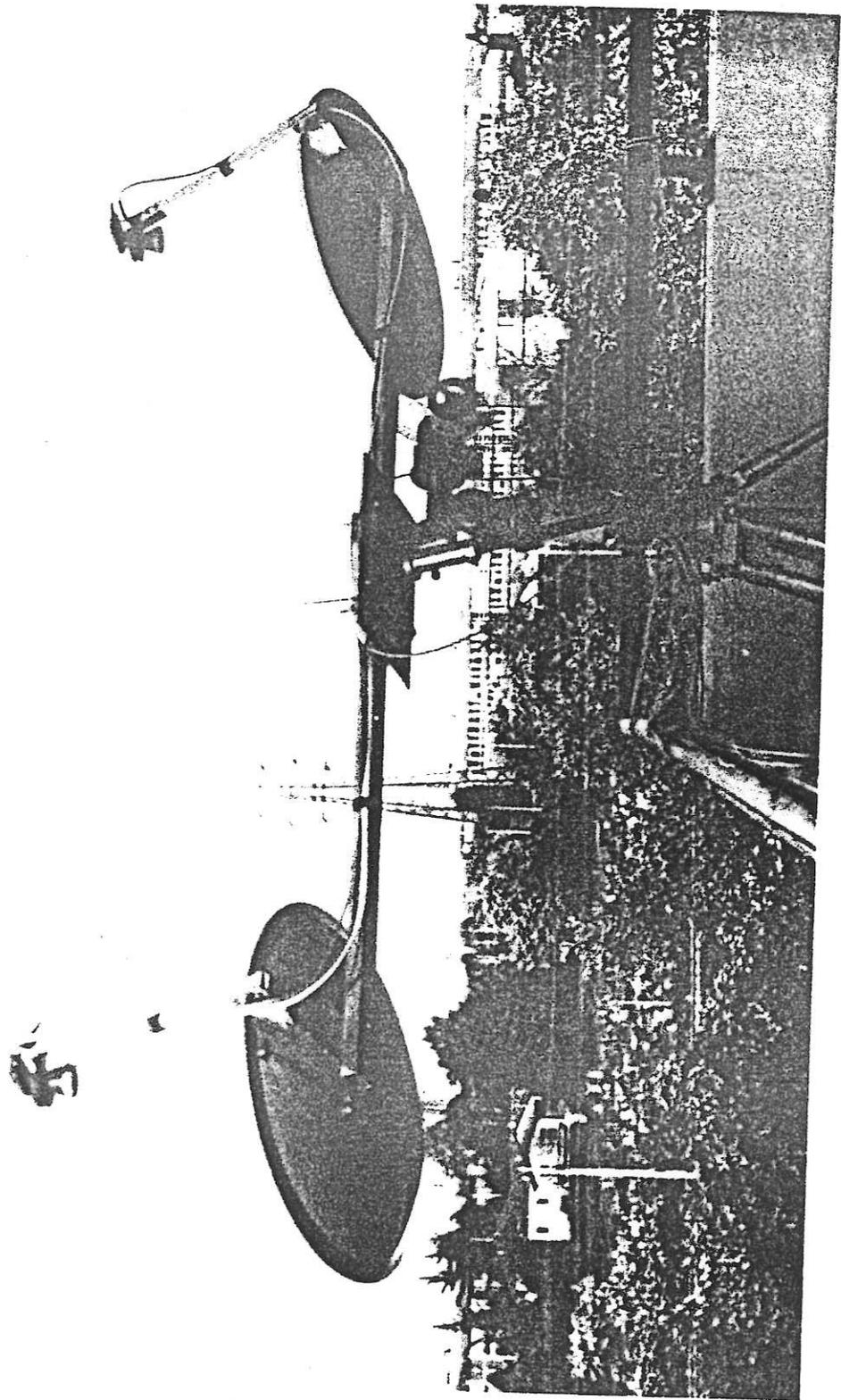


FIG. 27  
Una vista di insieme delle antenne e cavalletto costituenti  
l'interferometro. Il diametro dei paraboloidi e' di 60 cm.

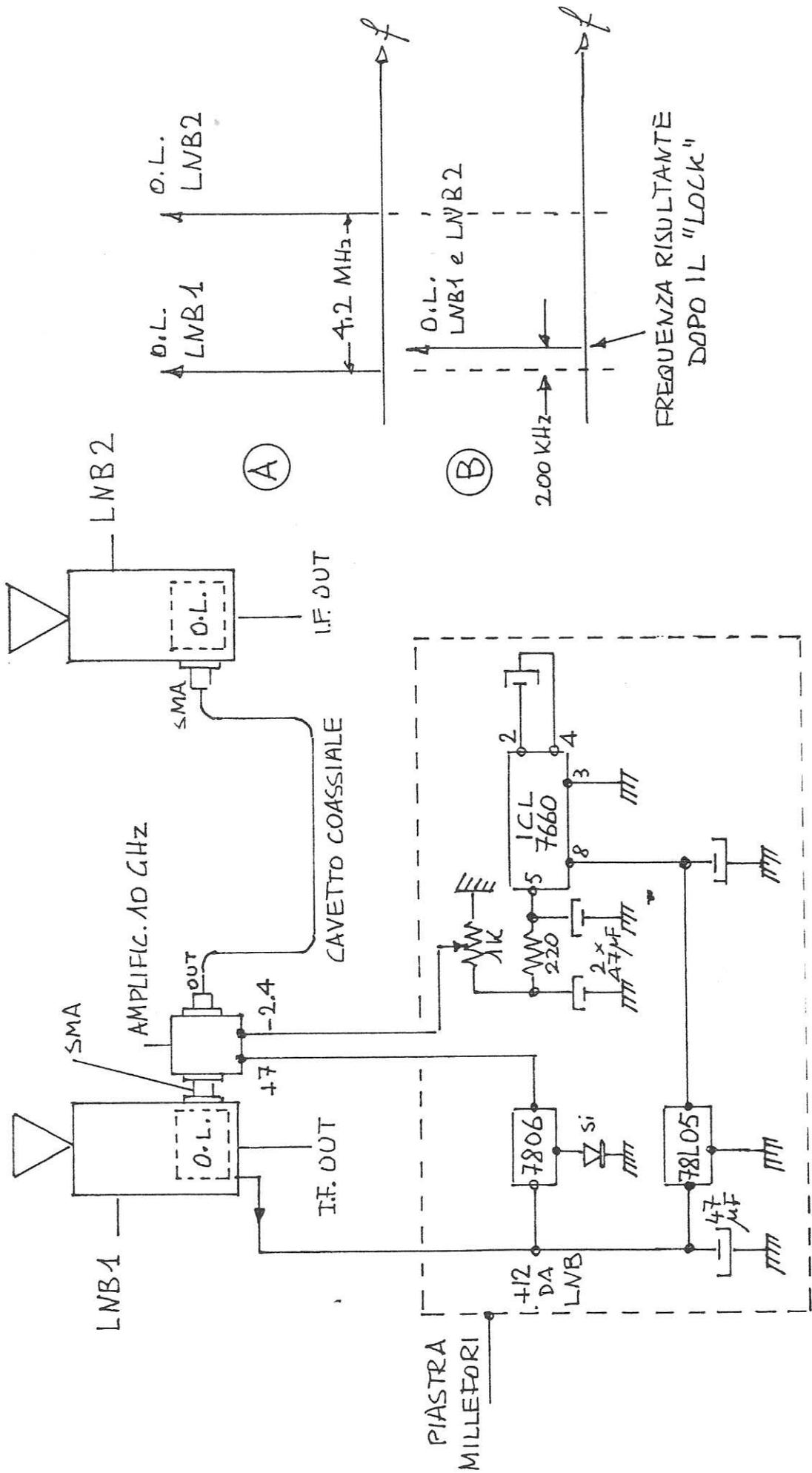
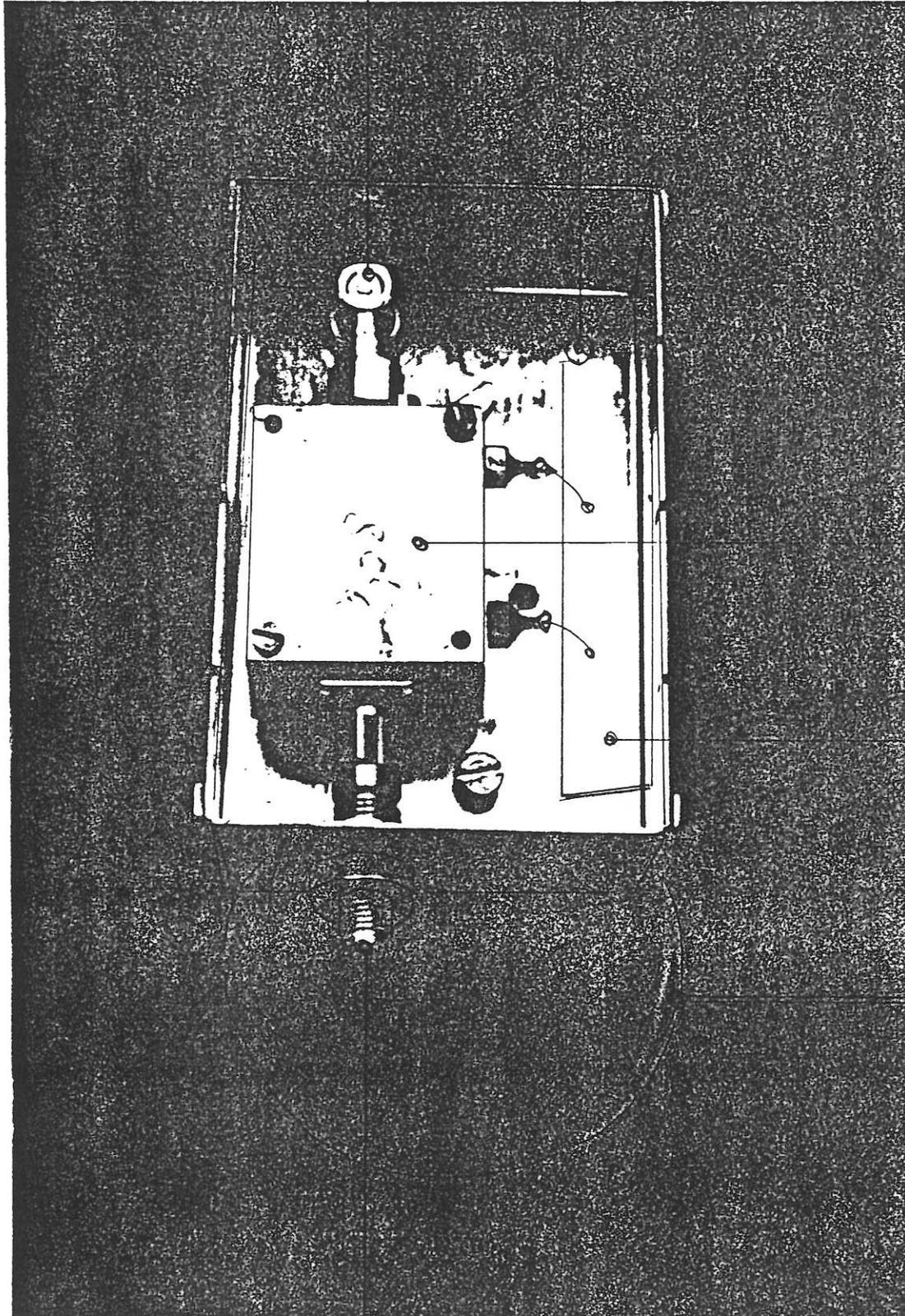


FIG. 28

Schema a blocchi dei dispositivi della sincronizzazione. Di lato, in "A" le frequenze originali degli LNB. In "B", dopo la sincronizzazione. I due operano ora alla stessa frequenza.



USCITA  
10 mW  
A 10  
GHz

INGRESSO  
1 mW A  
10 GHz

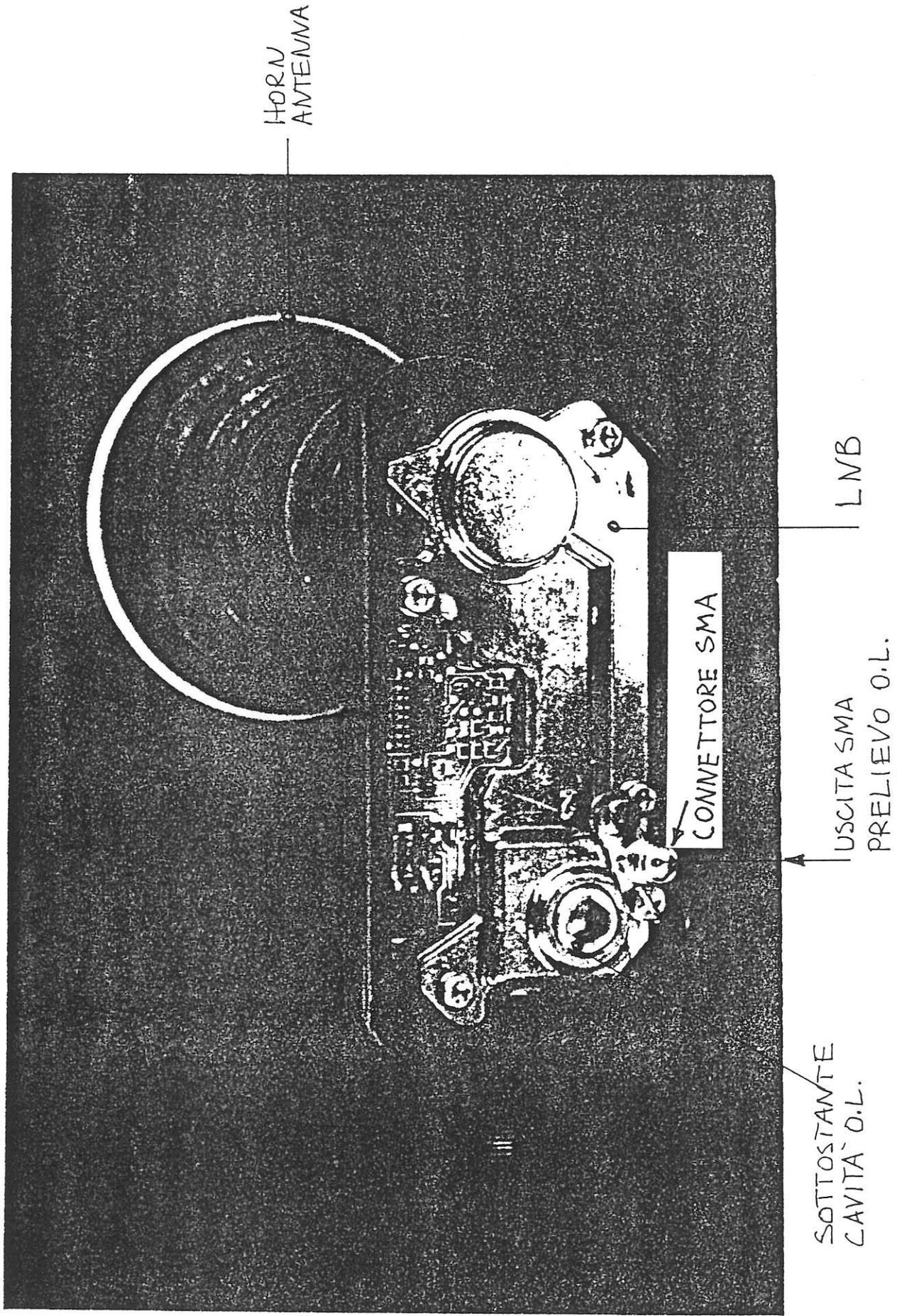
PRELIEVO +12 V  
DAL LNB  
SOTTOSTANTE

ANTENNA "HORN"  
LNB

PIASTRINA PER  
ALIMENTATORE  
DELL'AMPLIFICAT.

AMPLIFIC.  
10 GHz

FIG. 29  
Scatola TEKO entro cui e' sistemato l'amplificatore a 10 GHz.  
La scatola contiene anche una piastrina millefori e e' mon-  
tato l'alimentatore dell' amplificatore.



HORN  
ANTENNA

CONNETTORE SMA

SOTTOSTANTE  
CAVITA' O.L.

USCITA SMA  
PRELIEVO O.L.

LNB

FIG. 30  
LNB con installato il connettore SMA per il prelievo di  
parte dell'O.L. per la sincronizzazione.

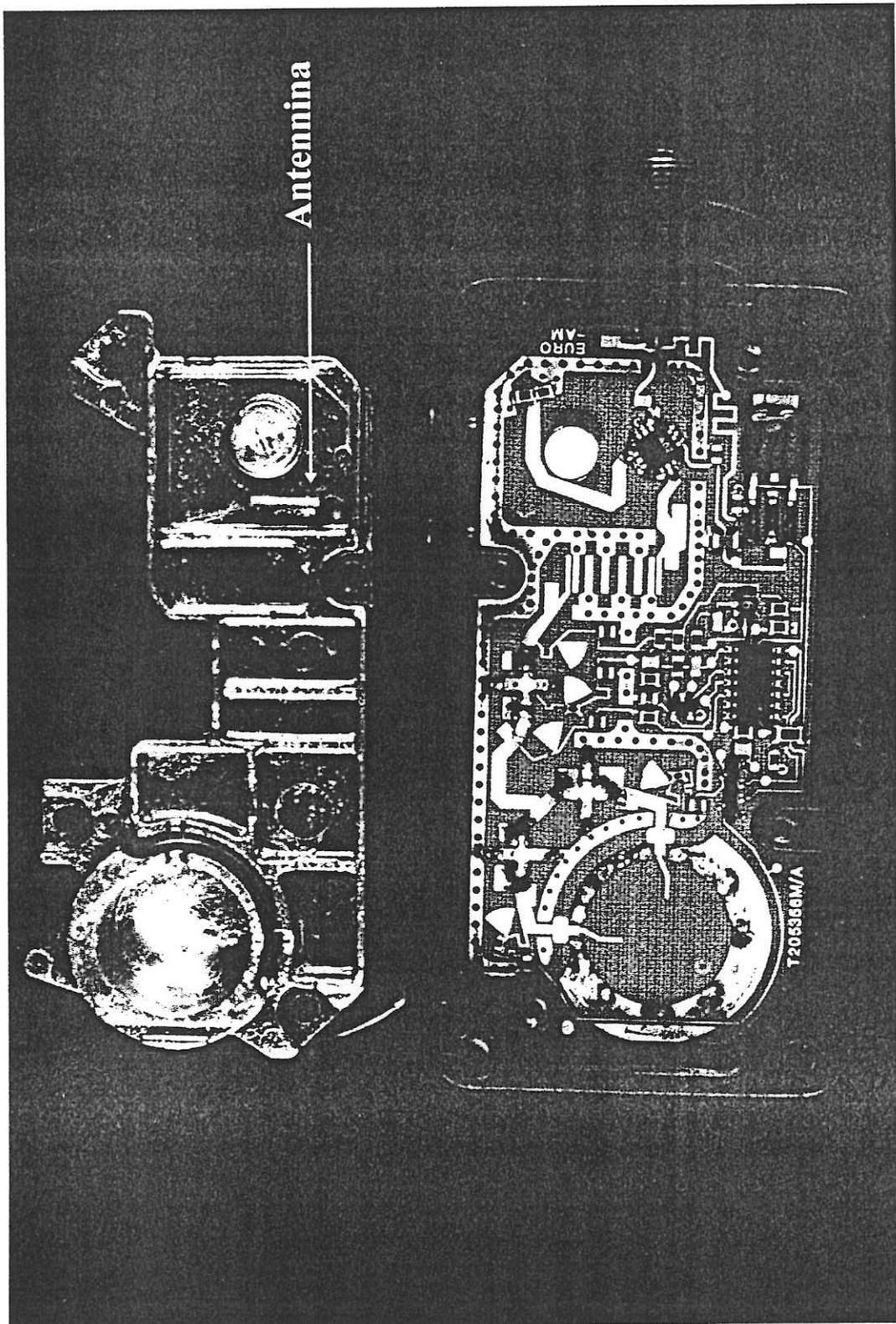


FIG. 31  
Piastra stampata e suo coperchio in un LNB. La freccia  
indica l'antenna di prelievo di parte dell'O.L.

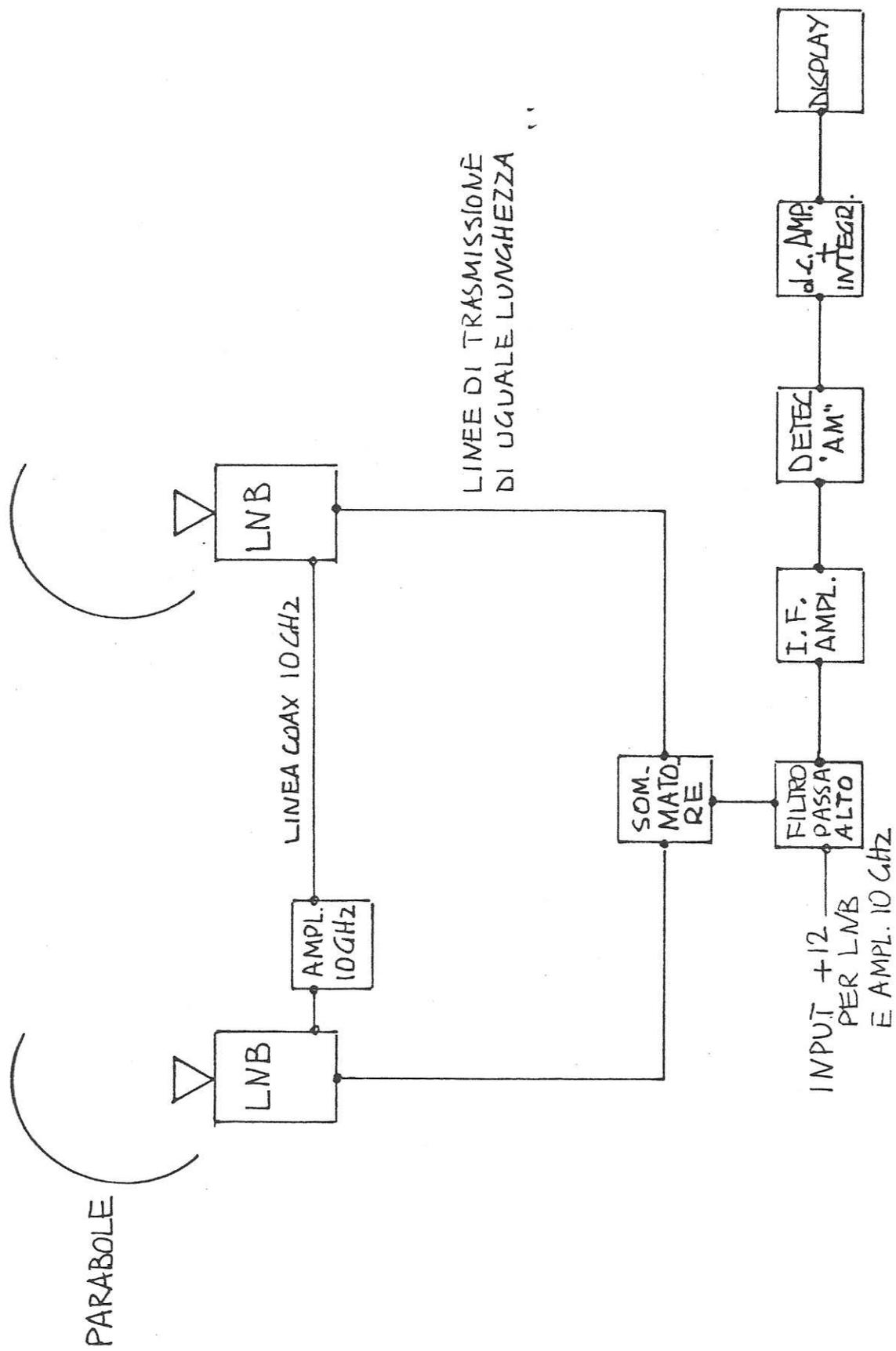


FIG. 32  
 Schema a blocchi dell'interferometro somma con gli O.L. sincronizzati.

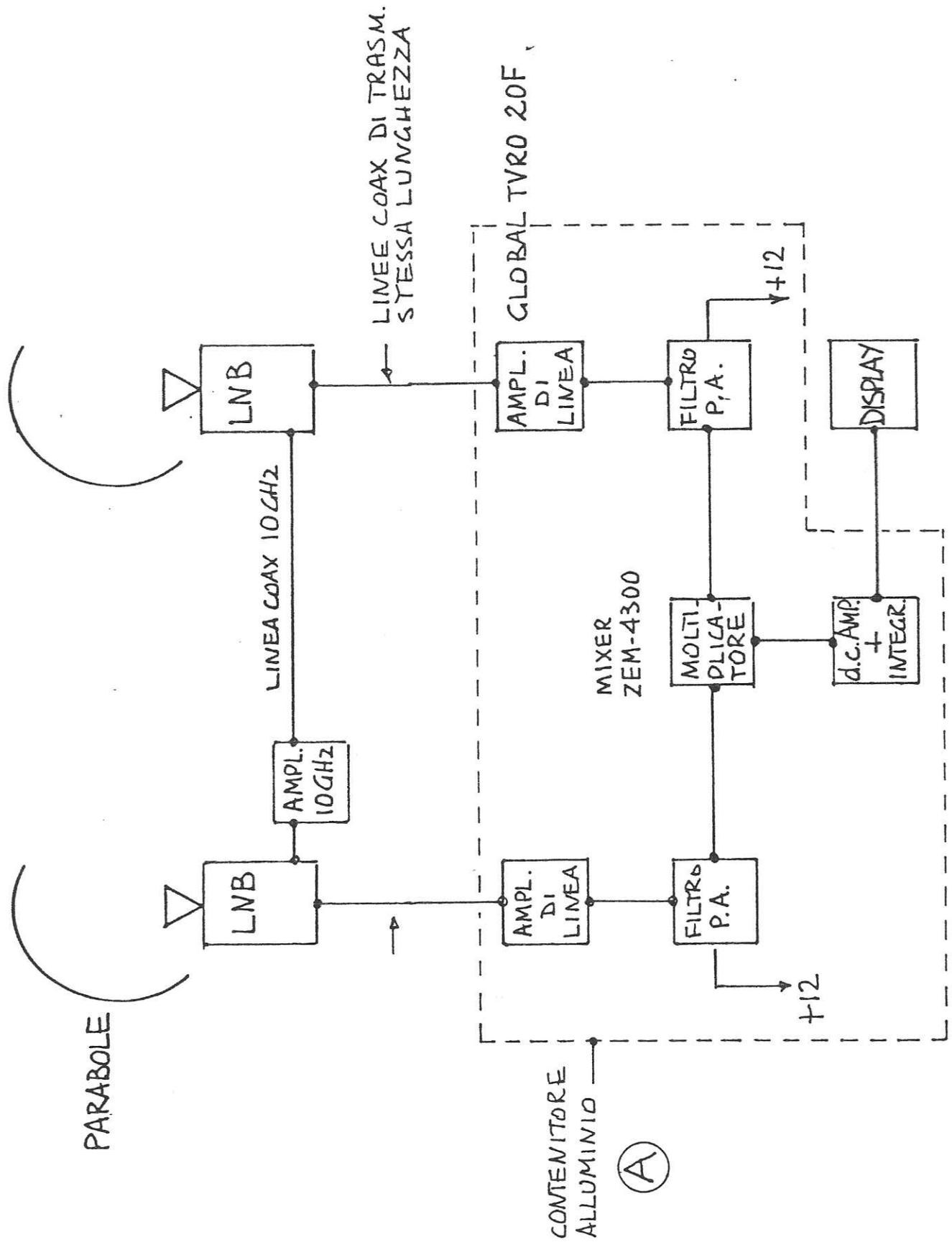
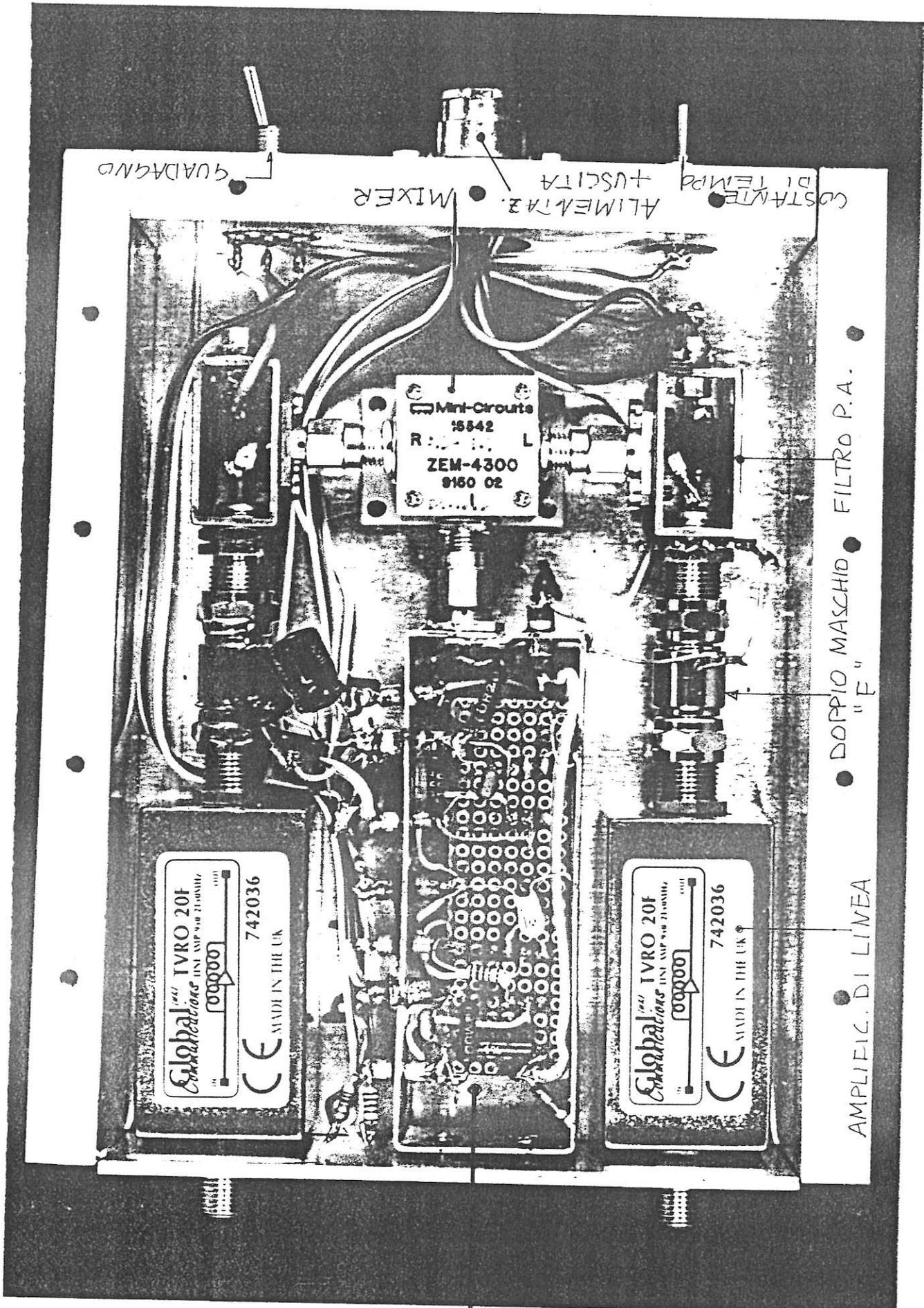


FIG. 33  
 Schema a blocchi dell' interferometro a prodotto.  
 Il contenitore "A" misura 150x120x34 mm.



AMPLIF. d.c. + INTEGRAT.

FIG. 34  
 Interferometro a Prodotto. Vista di insieme dei componenti I.F. e moltiplicatore analogico.

amplificazione (n)? 8  
offset (0-4096)? 0  
scala tempo (cm/min)? .5

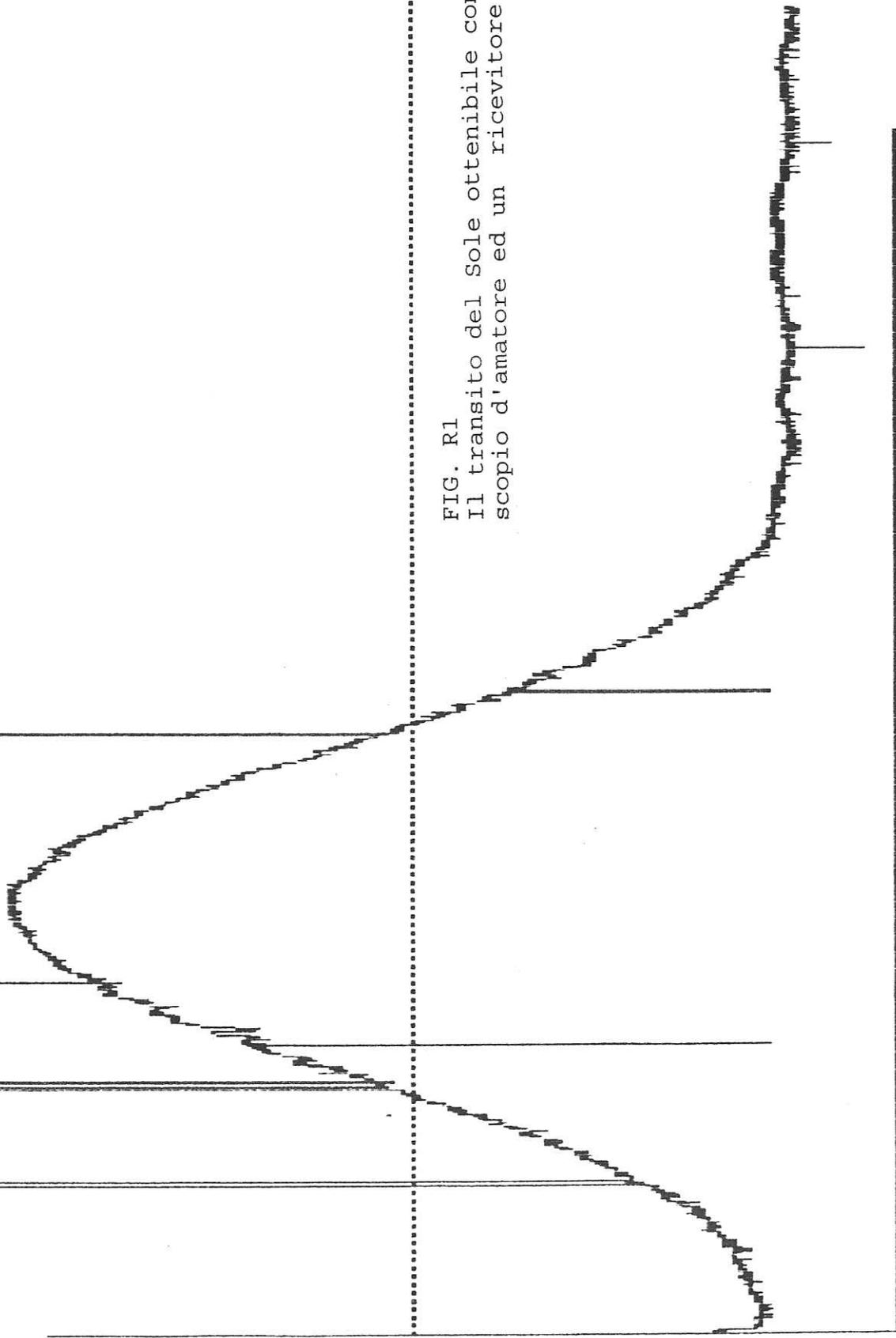


FIG. R1  
Il transito del Sole ottenibile con un radiotelescopio d'amatore ed un ricevitore "total power".

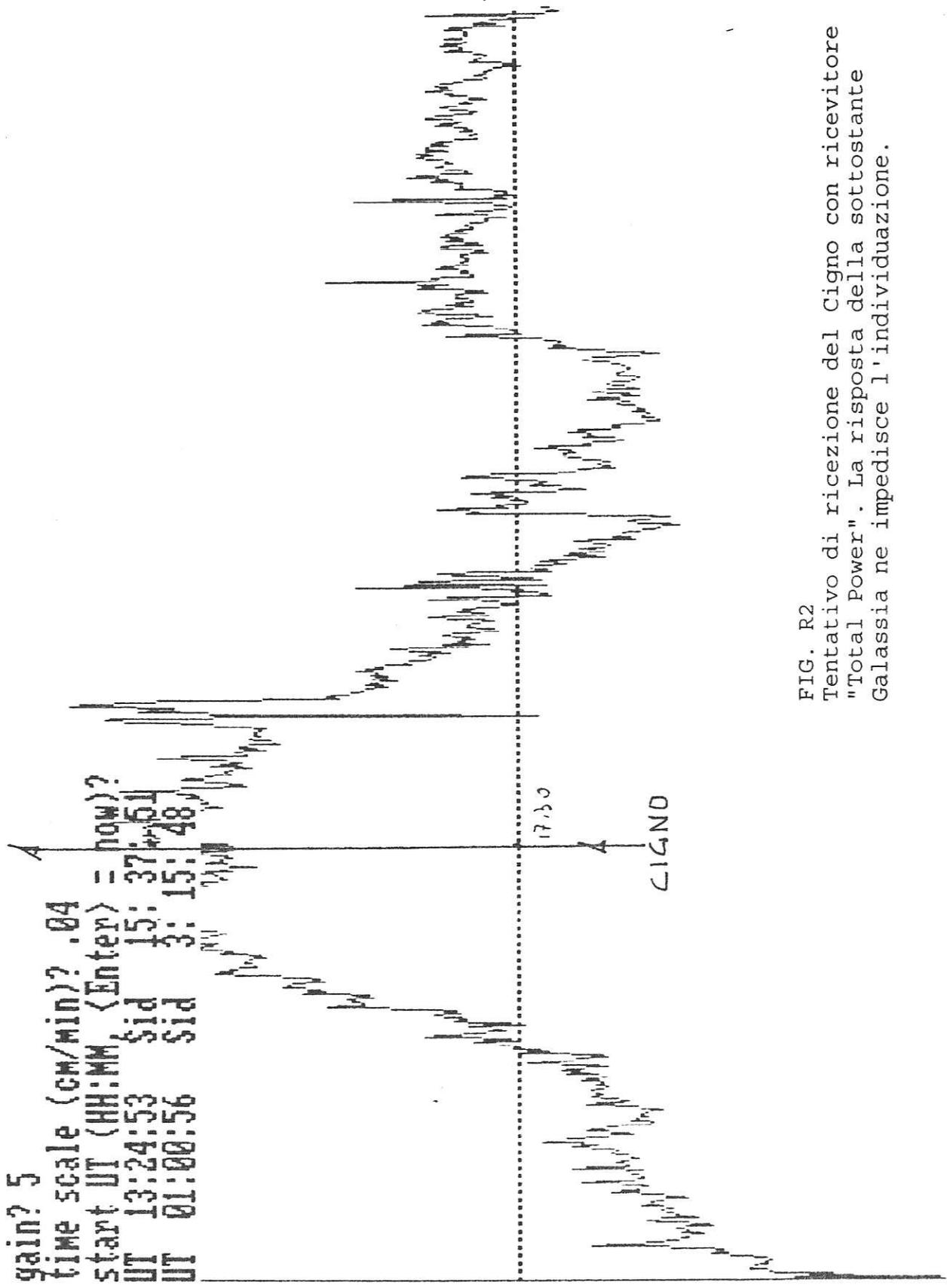


FIG. R2  
Tentativo di ricezione del Cigno con ricevitore  
"Total Power". La risposta della sottostante  
Galassia ne impedisce l'individuazione.

```
gain? 5  
time scale (cm/min)? .04  
start UT (HH:MM <Enter> = now)? 13:00  
UT 13:00:00 Sid 14: 33: 28  
UT 00:35:57 Sid 2: 11: 19
```

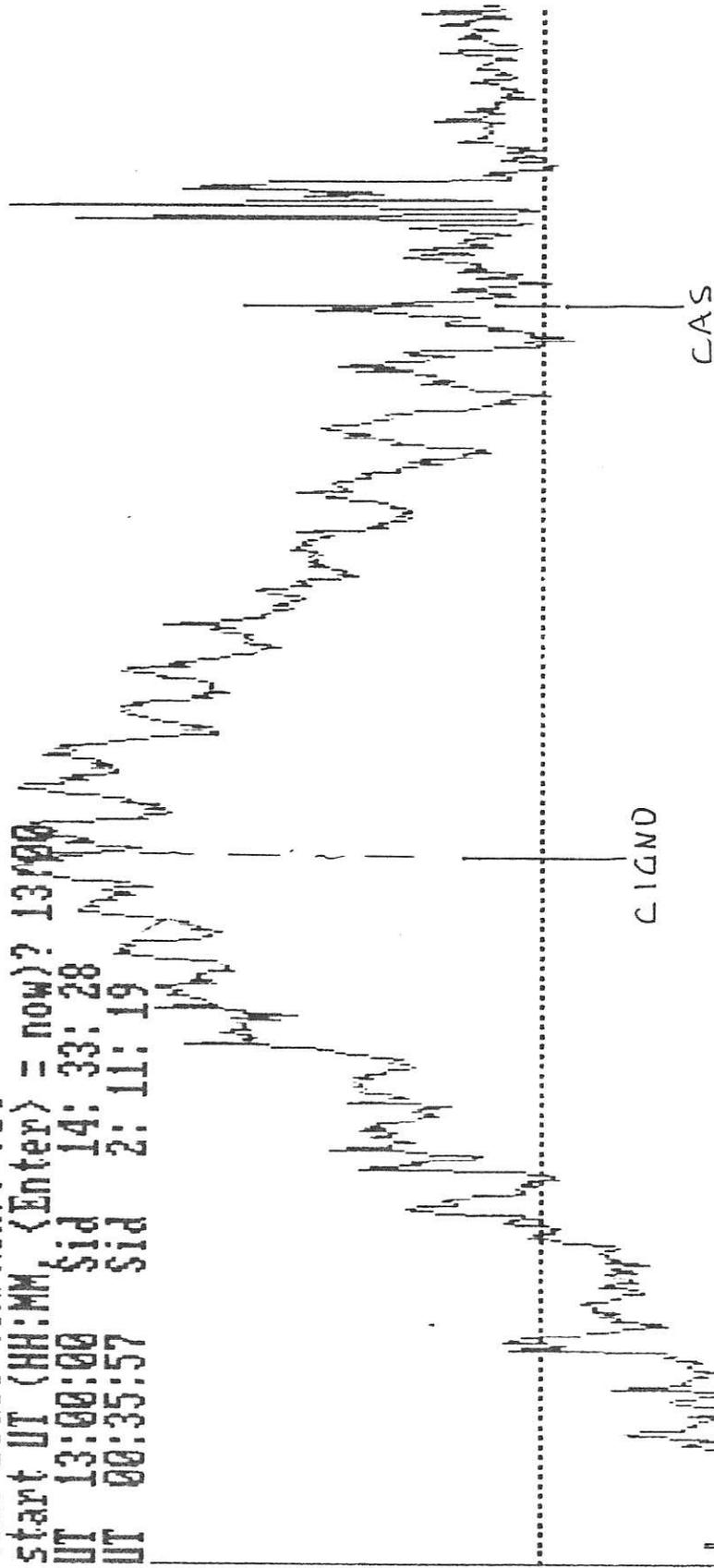


FIG. R3  
Interferometro somma. La ricezione simultanea delle frange dovute al Cigno e Cassiopea che modulano la sottostante risposta alla Galassia. Si noti la diversa frequenza di frangia che ne permette il riconoscimento a conferma della diversa ora di transito

amplificazione (n)? 10  
offset (0-4096)? 0  
scala tempo (cm/min)? .4  
Ok

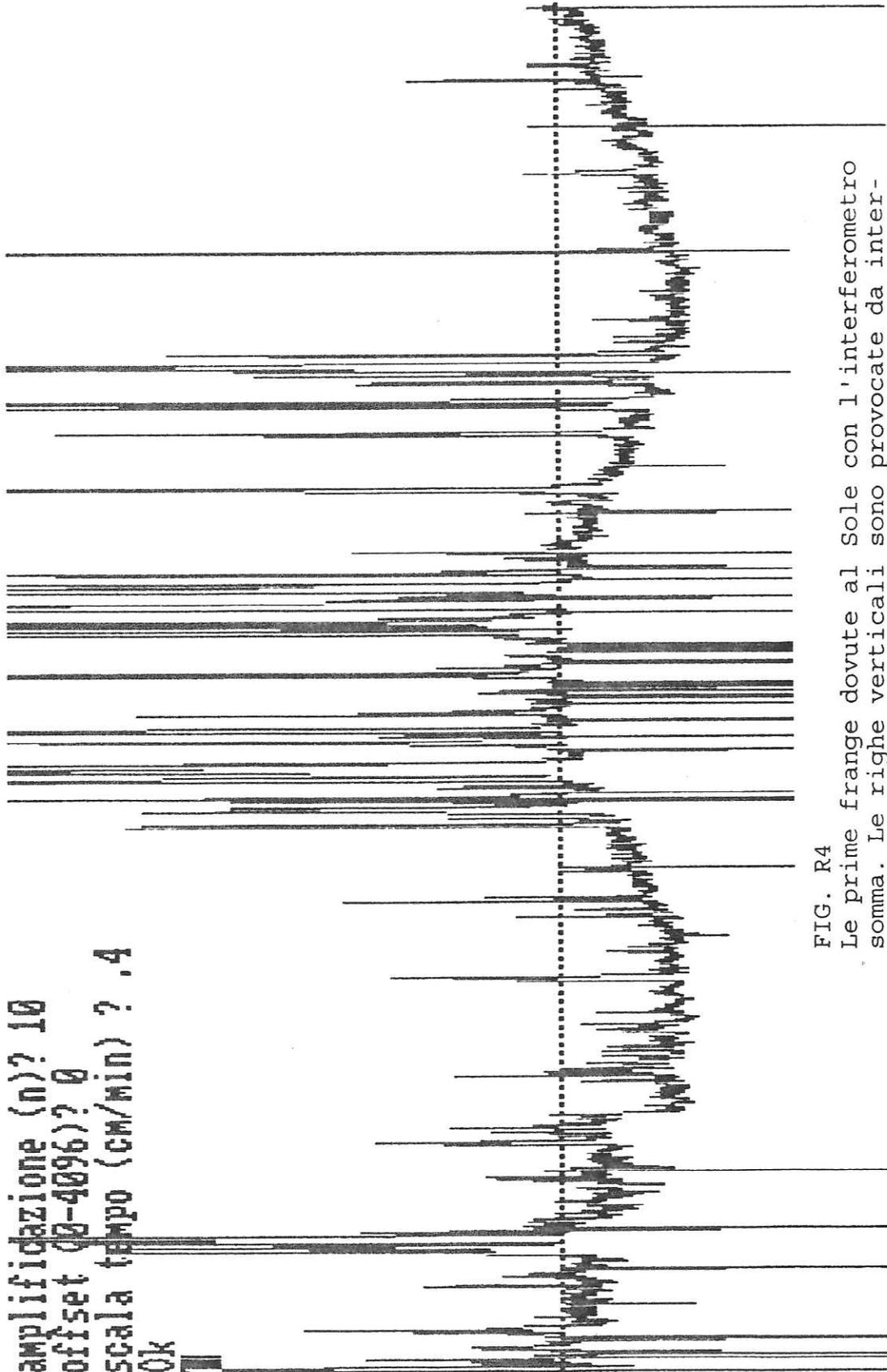


FIG. R4  
Le prime frange dovute al Sole con l'interferometro  
somma. Le righe verticali sono provocate da inter-  
ferenze locali.

```
gain? 10  
time scale (cm/min)? .2  
start UT (HH:MM, <Enter> = now)? 10:30  
UT 10:30:00 Sid 9: 33: 14  
UT 13:13:52 Sid 12: 17: 34  
Ok
```

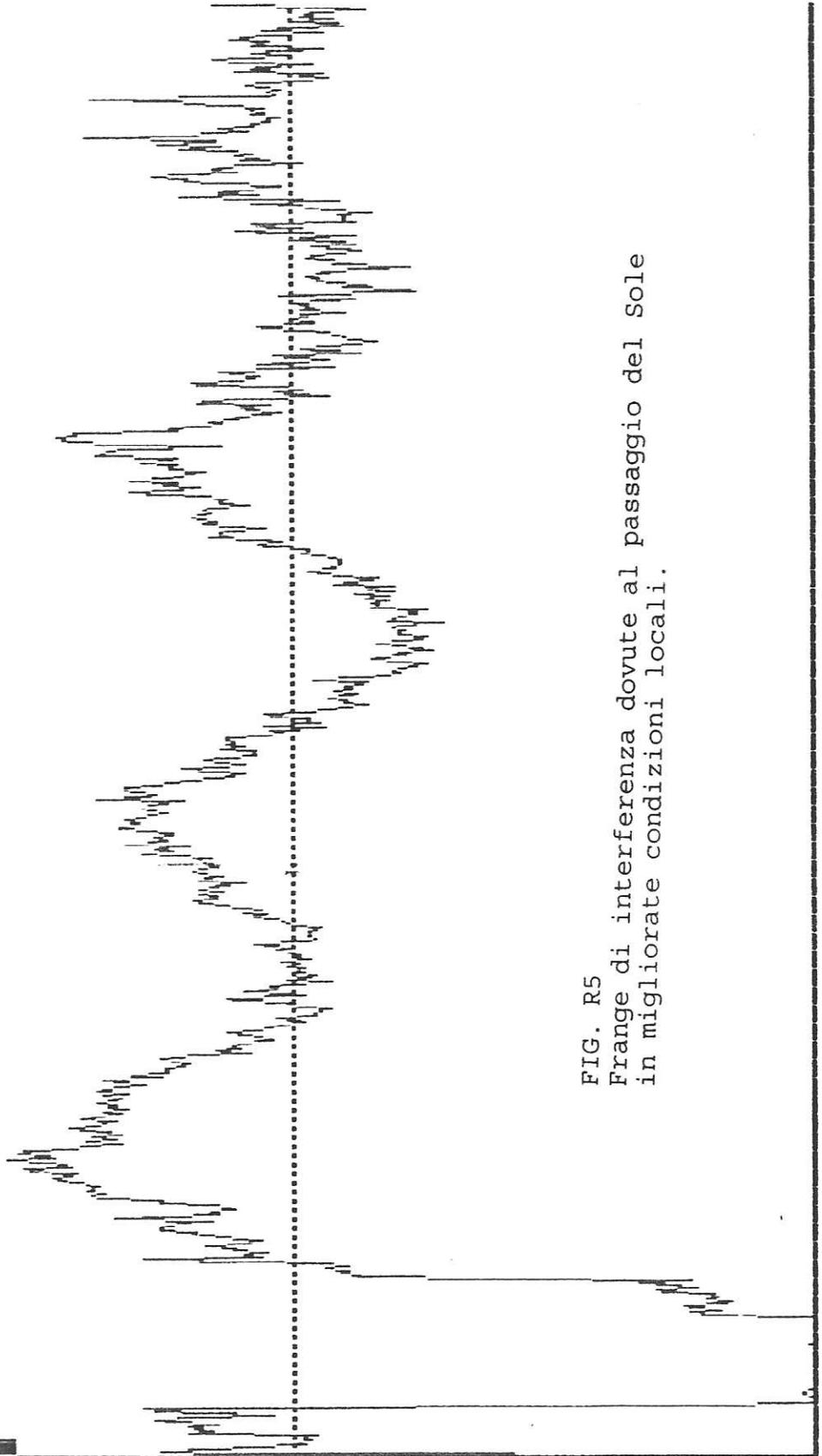


FIG. R5  
Frange di interferenza dovute al passaggio del Sole  
in migliorate condizioni locali.

# 18 WAVELENGTH INTERFEROMETER

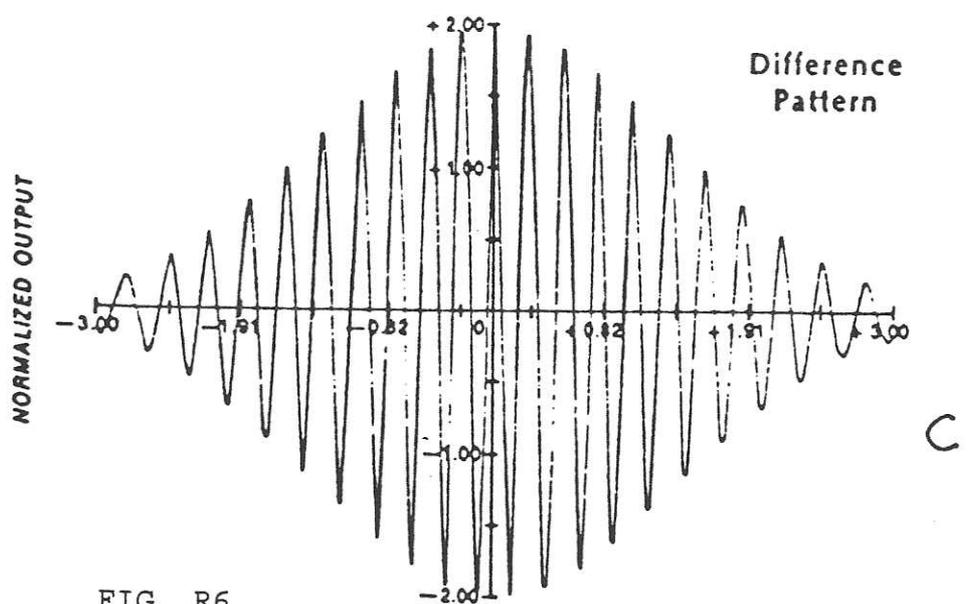
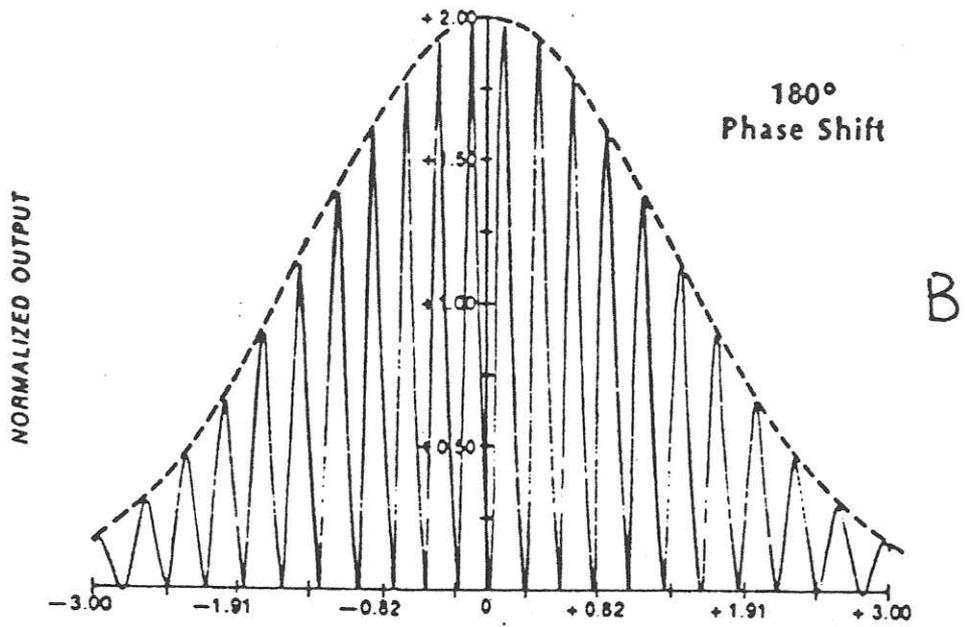
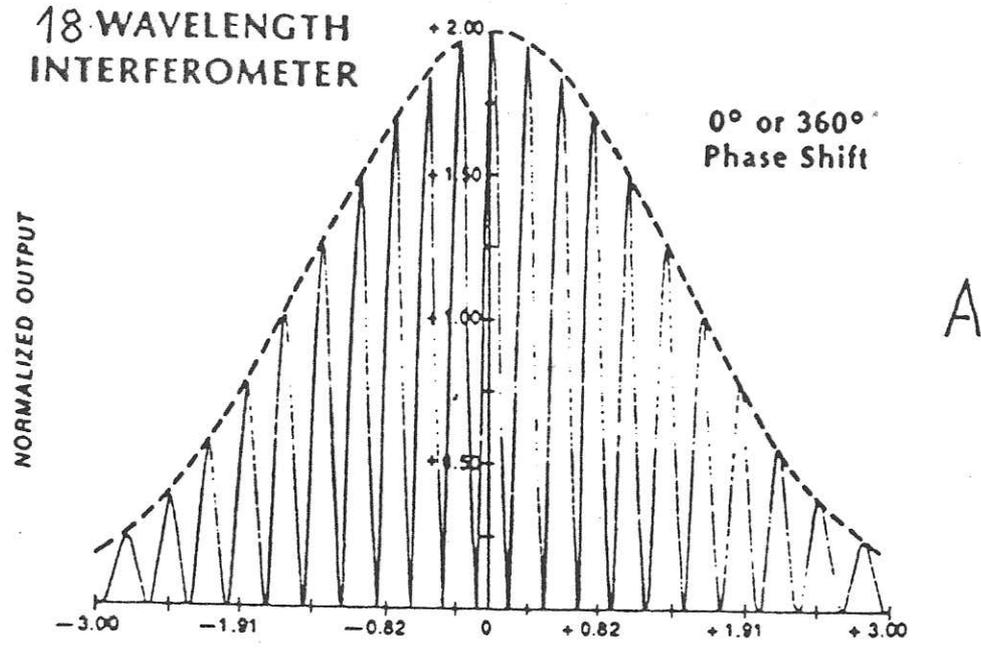


FIG. R6

Risposte teoriche di un interferometro. "A" e "B" sono relative alla somma e "C" al prodotto dei segnali d'ingresso.

gain? 10  
time scale (cm/min)? .05  
start UT (HH:MM (Enter) = now)? 17:30  
UT 17:30:00 Sid 18: 44: 30  
UT 02:46:39 Sid 4: 2: 40

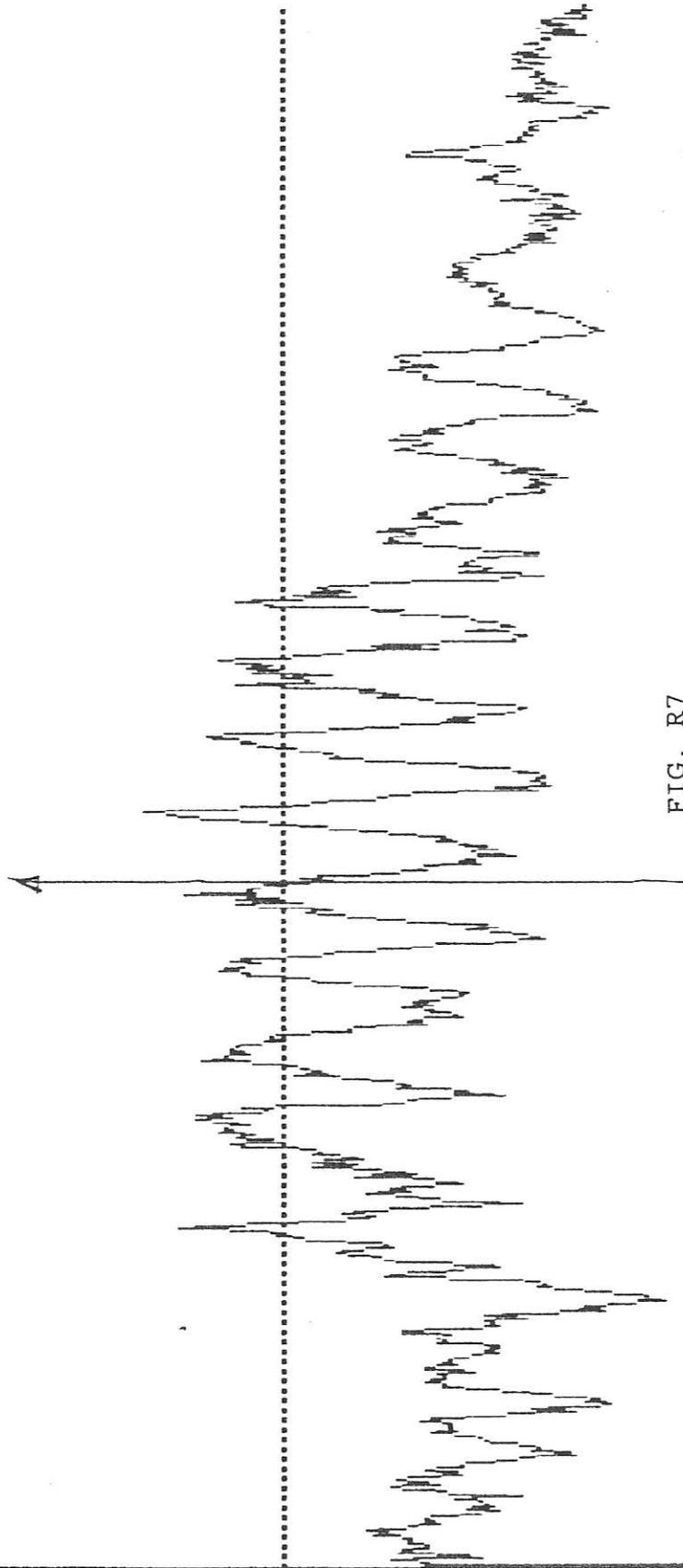


FIG. R7  
Interferometro a sfasamento. Un esemplare transitivo  
di Cassiopea. La risposta alla sottostante Galassia  
e' quasi nulla.

gain? 10  
time scale (cm/min)? .05  
start UT (HH:MM, <Enter> = now)? 18:30  
UT 18:30:00 Sid 19: 32: 50  
UT 03:46:40 Sid 4: 51: 1

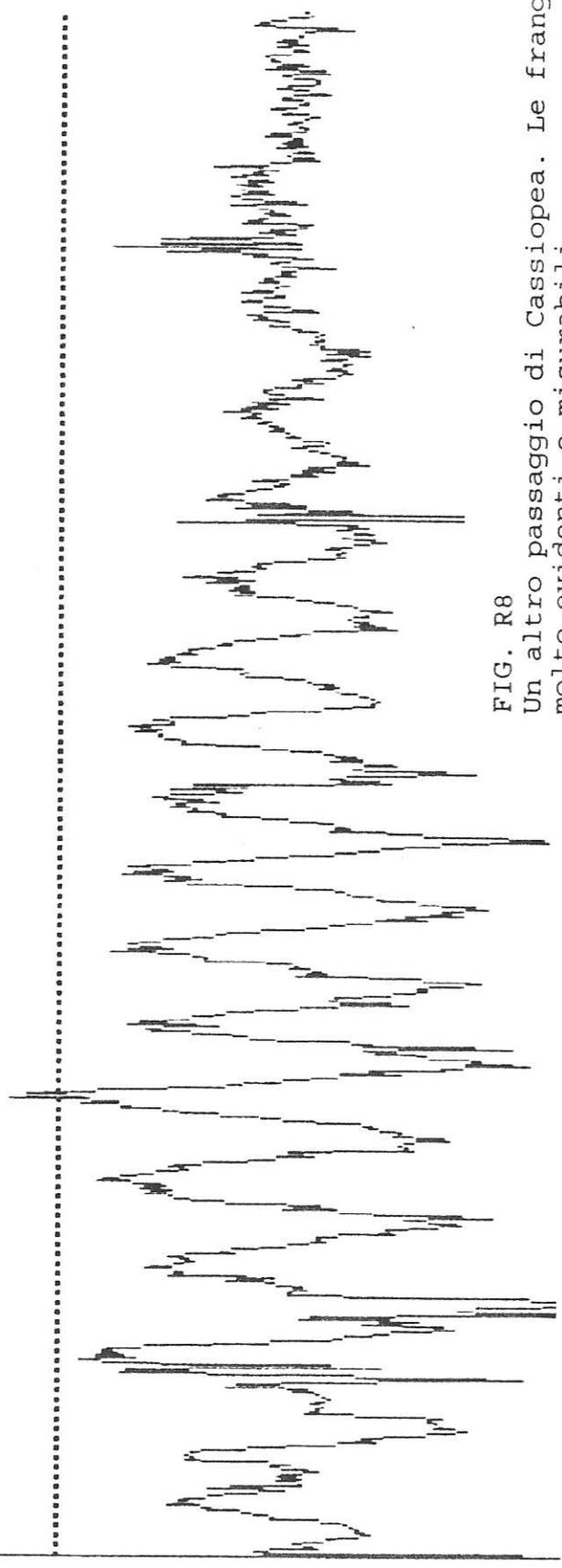


FIG. R8  
Un altro passaggio di Cassiopea. Le frange sono molto evidenti e misurabili.

gain? 20  
time scale (cm/min)? .05  
start UT (HH:MM <Enter> = now)?  
UT 16:04:20 Sid 17: 22: 32  
UT 01:21:10 Sid 2: 40: 55

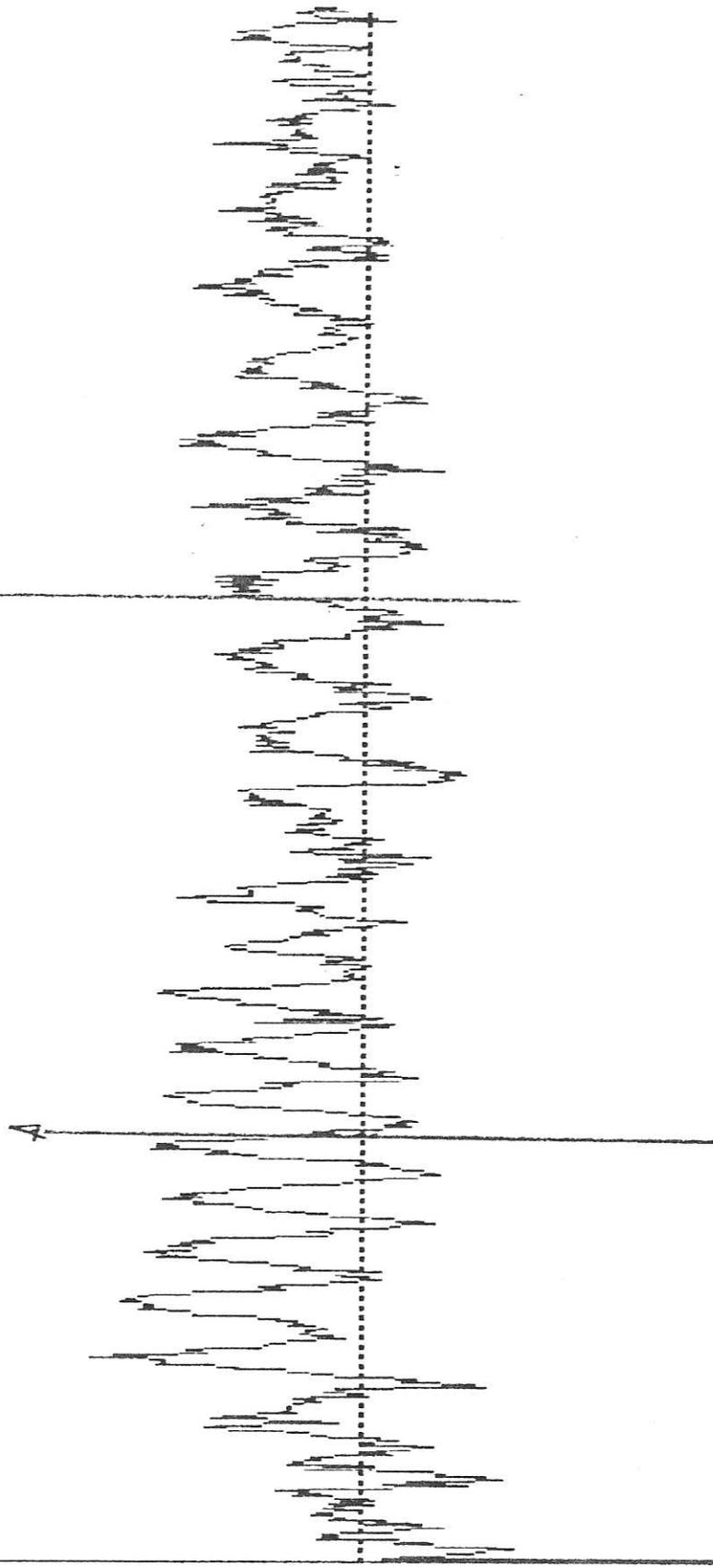


FIG. R9  
Un transito complesso Cigno-Cassiopea. Notare  
la diversa frequenza di frangia.

gain? 20 time scale (cm/min)? .04 start UT (HH:MM, <Enter> = now)? 12:00  
UT 12:00:00 Sid 7: 14: 5 11-28-1998  
UT 23:32:12 Sid : 48: 12

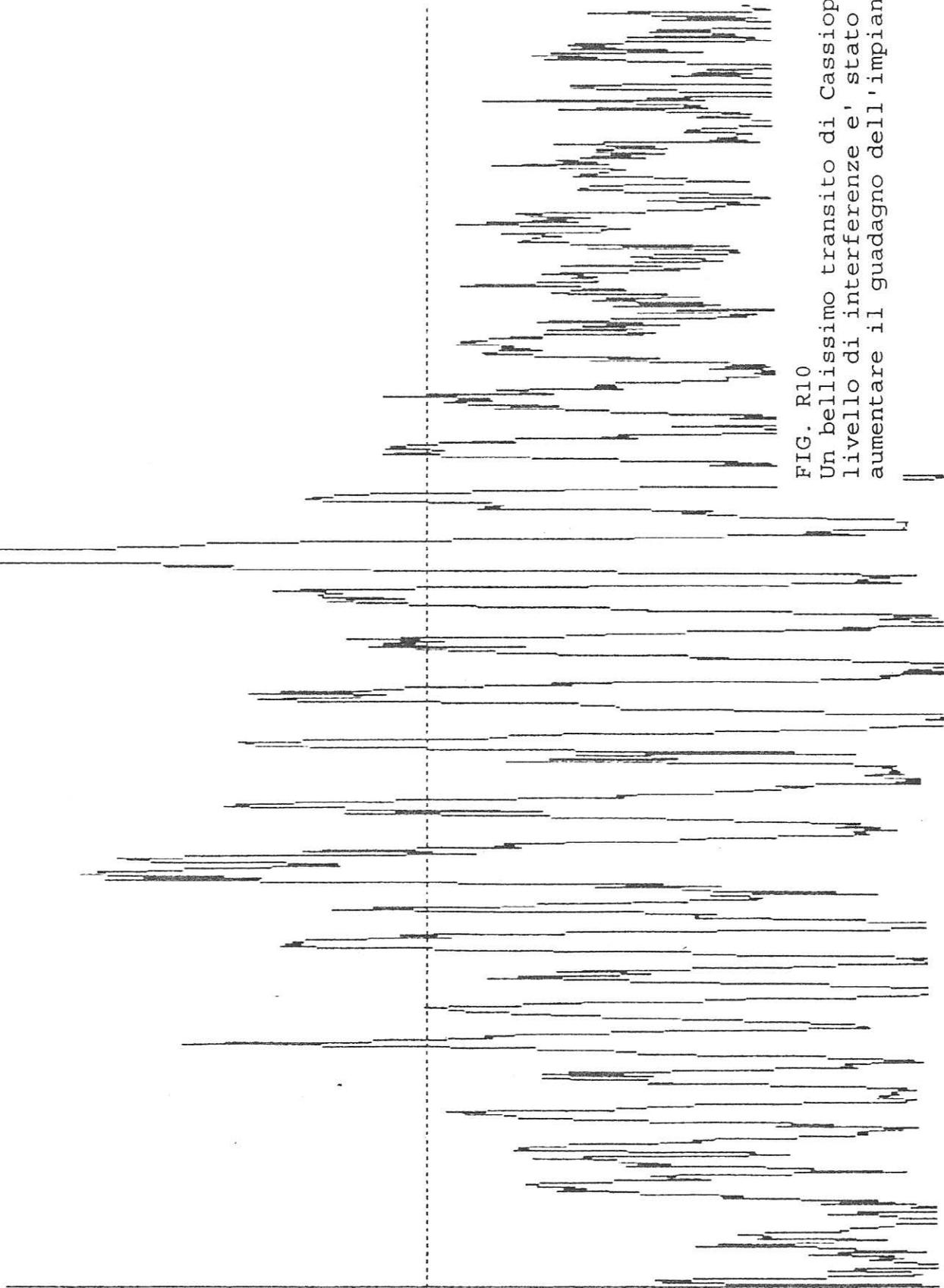


FIG. R10  
Un bellissimo transito di Cassiopea. Con basso livello di interferenze e' stato possibile aumentare il guadagno dell'impianto.

amplificazione (n)? 5  
offset (0-4096)? 0  
scala tempo (cm/min) ? 1

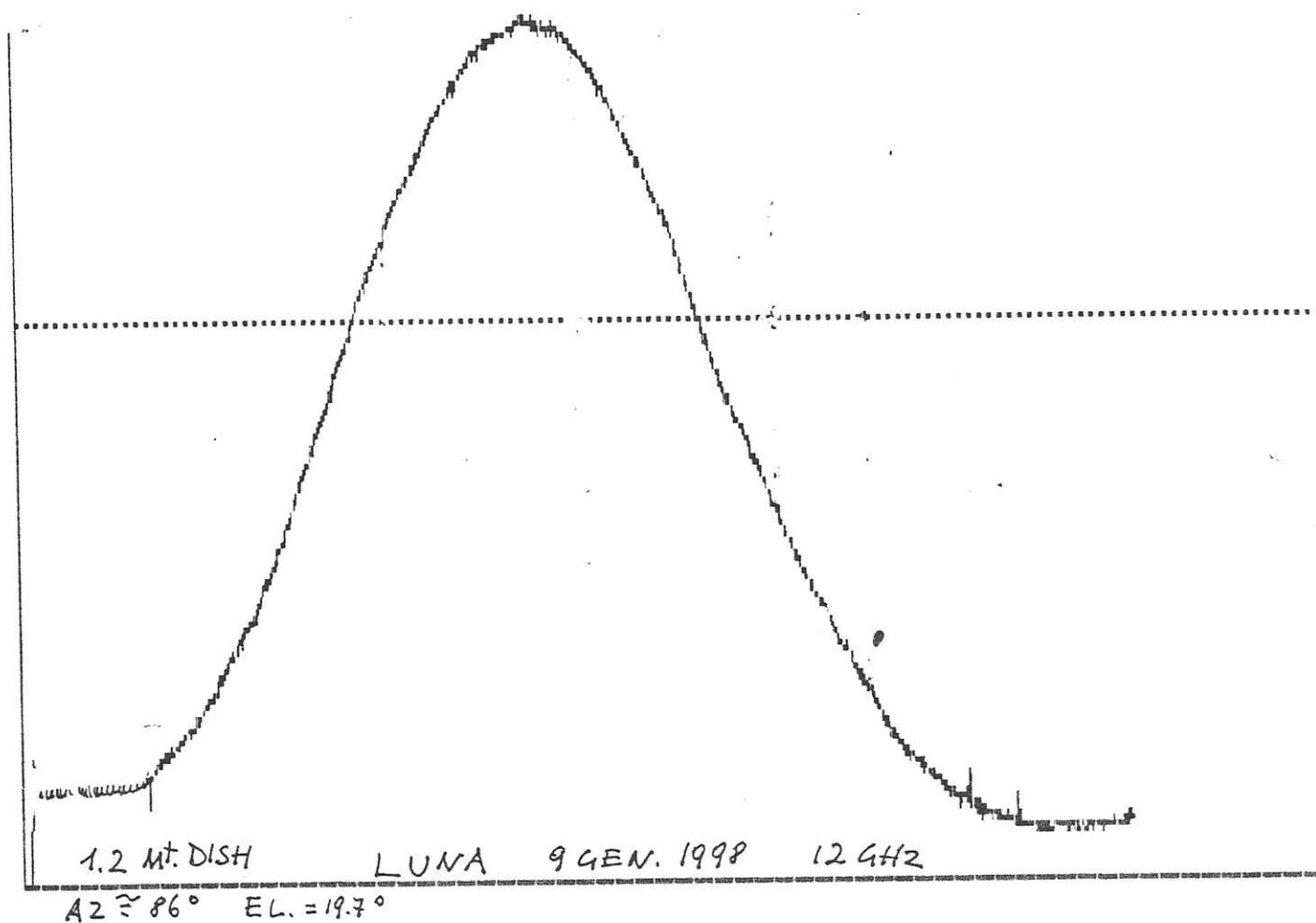
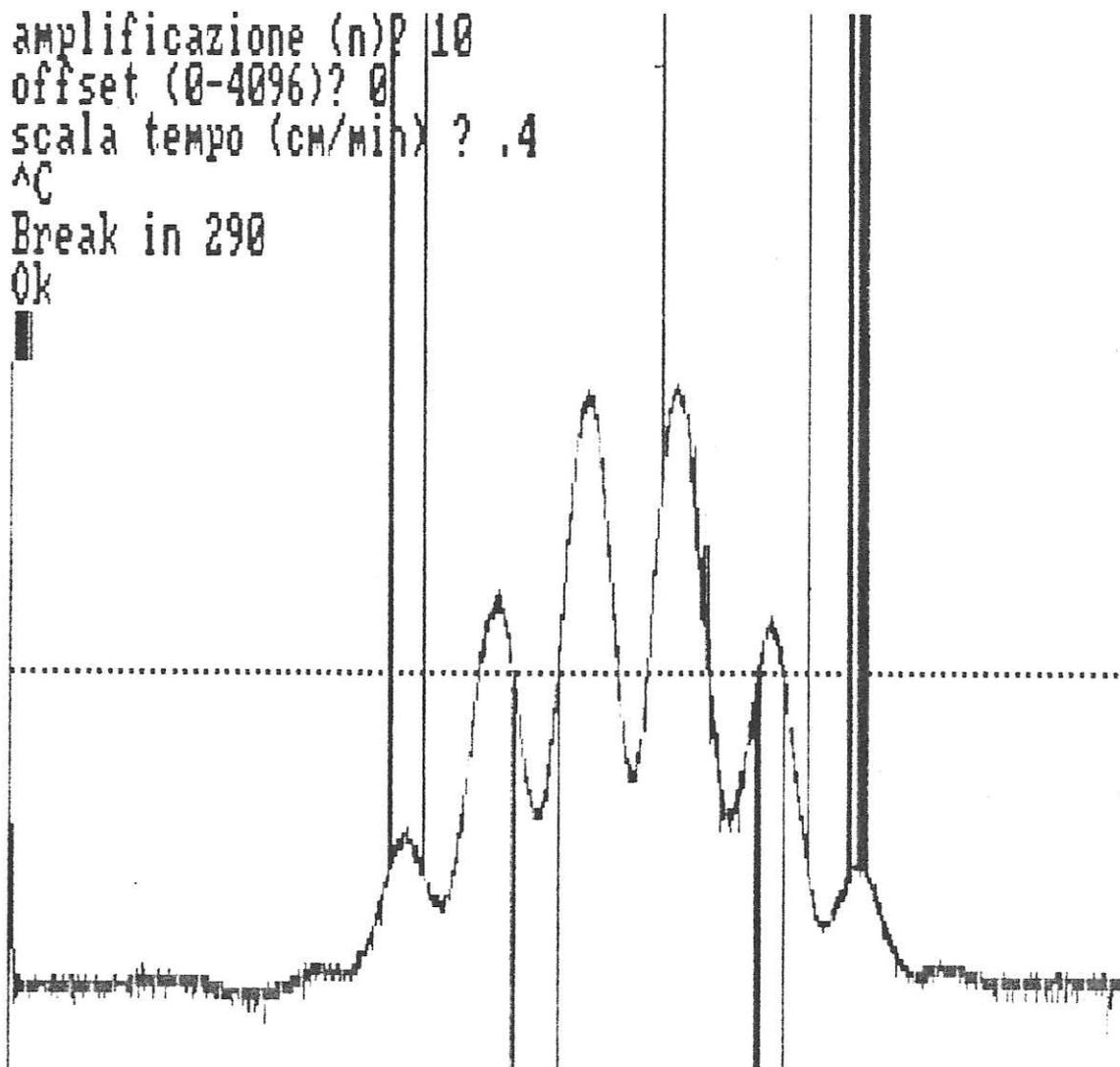


FIG. R11  
Un transito "Total Power" della Luna. La  
traccia e' particolarmente pulita.

amplificazione (n)P 10  
offset (0-4096)? 0  
scala tempo (cm/min) ? .4  
^C  
Break in 290  
Ok



10/03/98

SOLE - INTERF. A SOMMA  $\left\{ \begin{array}{l} A2 = 162^\circ \\ EL = 39.8^\circ \end{array} \right.$

FIG. R12

Interferometro somma. Le frange del Sole hanno un minimo al centro della risposta. Le fasi sono discordi.

Amplificazione (n)? 8  
Offset (0-4096)? 0  
cala tempo (cm/min)? .5

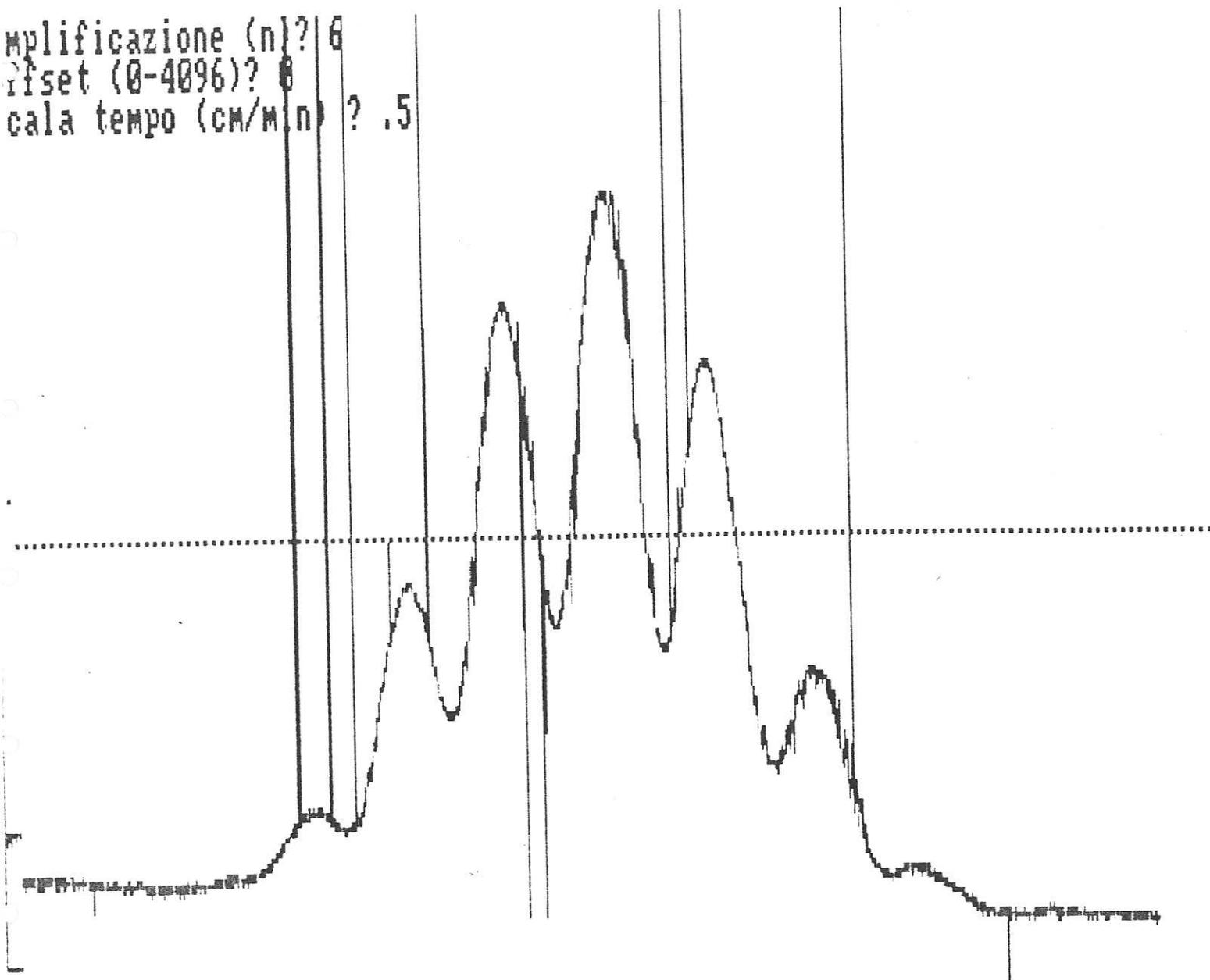


FIG. R13  
Interferometro somma. Le frange del Sole hanno  
il massimo coincidente col centro della risposta.  
C'e' concordanza di fase.

amplificazione (n)? 20  
offset (0-4096)? 0  
scala tempo (cm/min) ? 4  
Ok

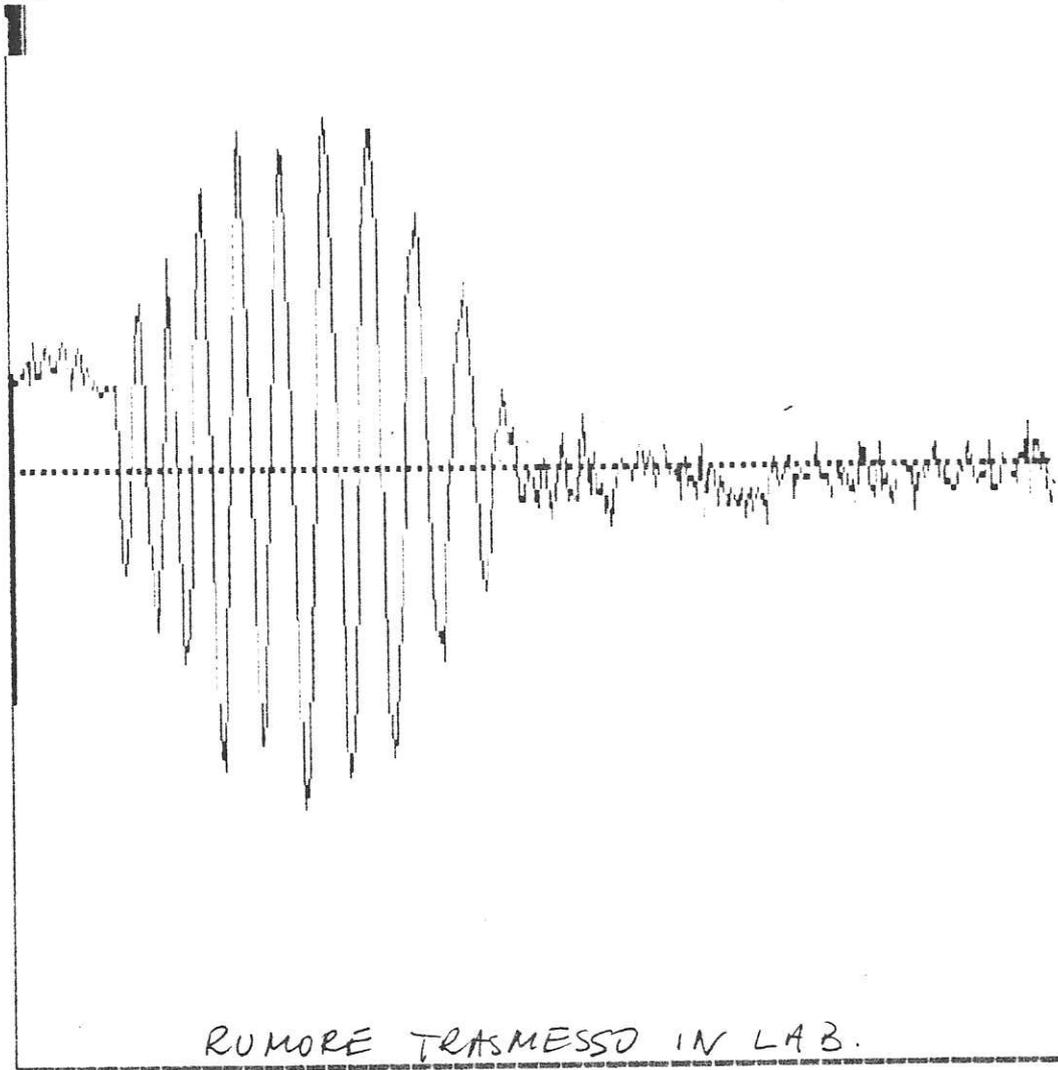


FIG. R14  
Frangere di interferenza ottenute in laboratorio  
con il transito manuale di una sorgente di rumore  
di fronte agli illuminatori dell'interferometro.

amplificazione (n)? 10  
offset (0-4096)? 0  
scala tempo (cm/min) ? :5

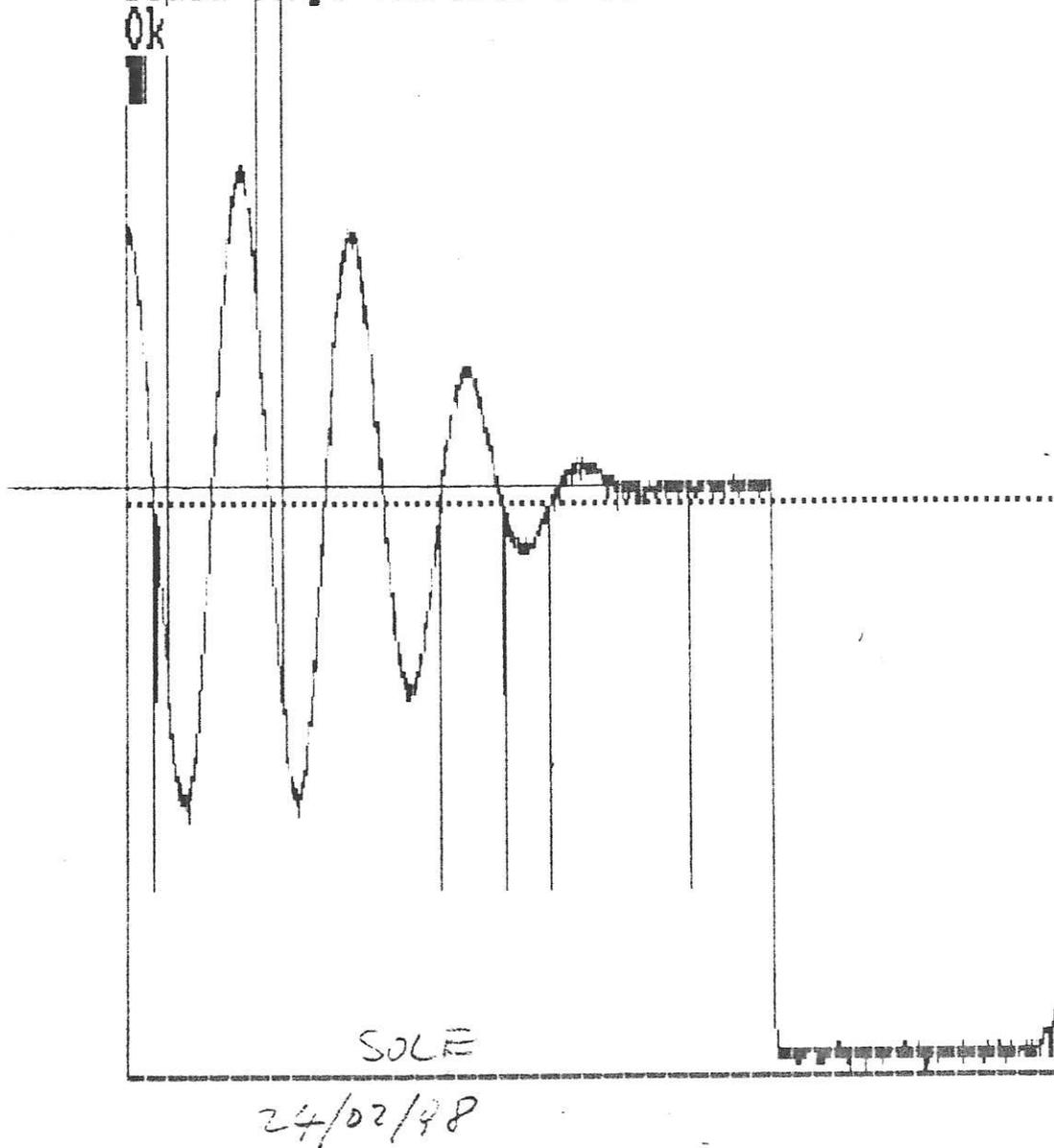


FIG. R15  
Il primo transito del Sole con l'interferometro  
a prodotto. La parte mancante e' dovuta ad errore.

amplificazione (n)? 13  
offset (0-4096)? 0  
scala tempo (cm/min) ? .5  
^C  
Break in 290  
Ok

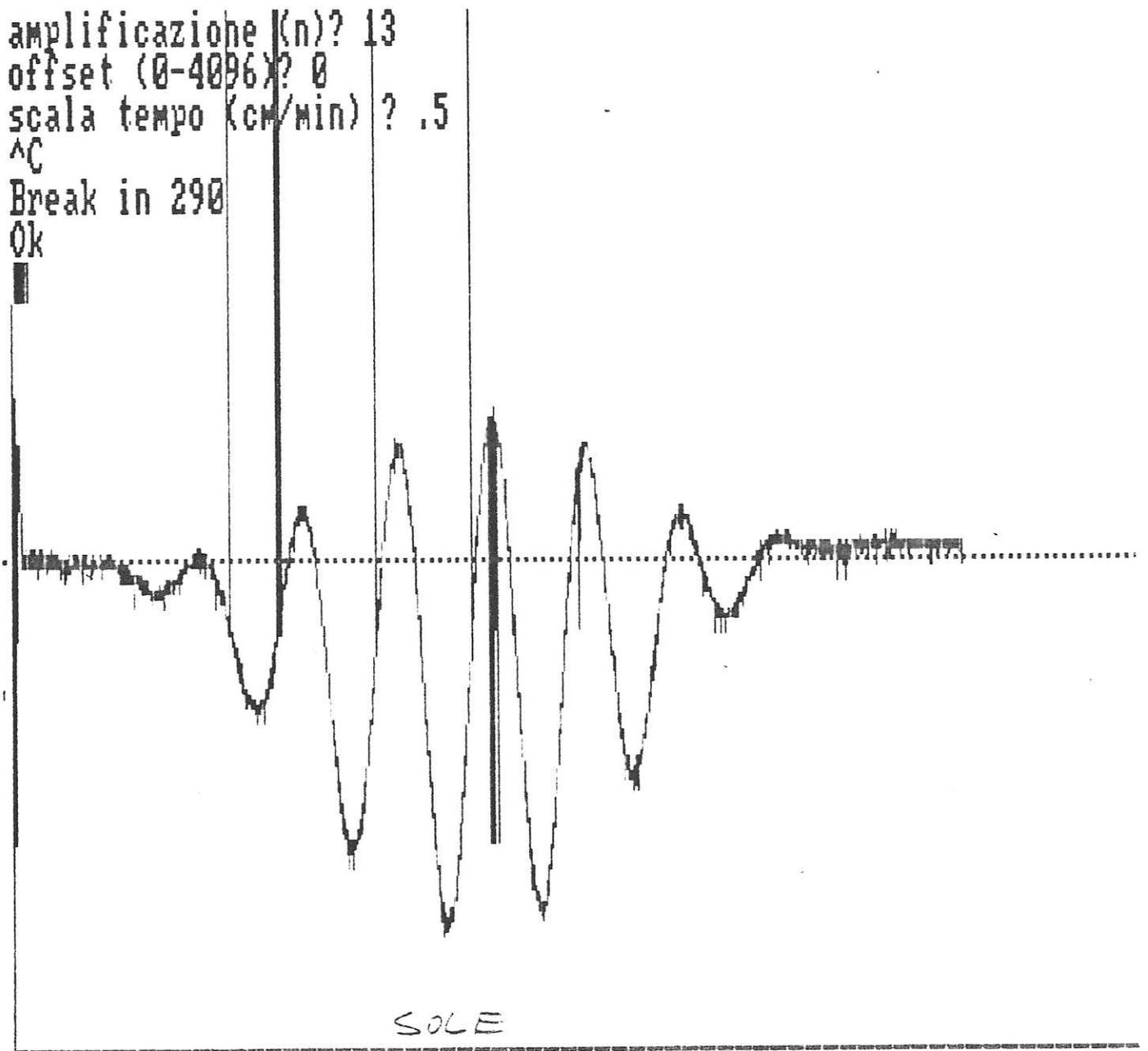


FIG. R16  
Il transito del Sole con una delle antenne  
parzialmente ostruita.

amplificazione (n)? 20  
offset (0-4096)? 0  
scala tempo (cm/min) ? .4  
^C  
Break in 290  
Ok

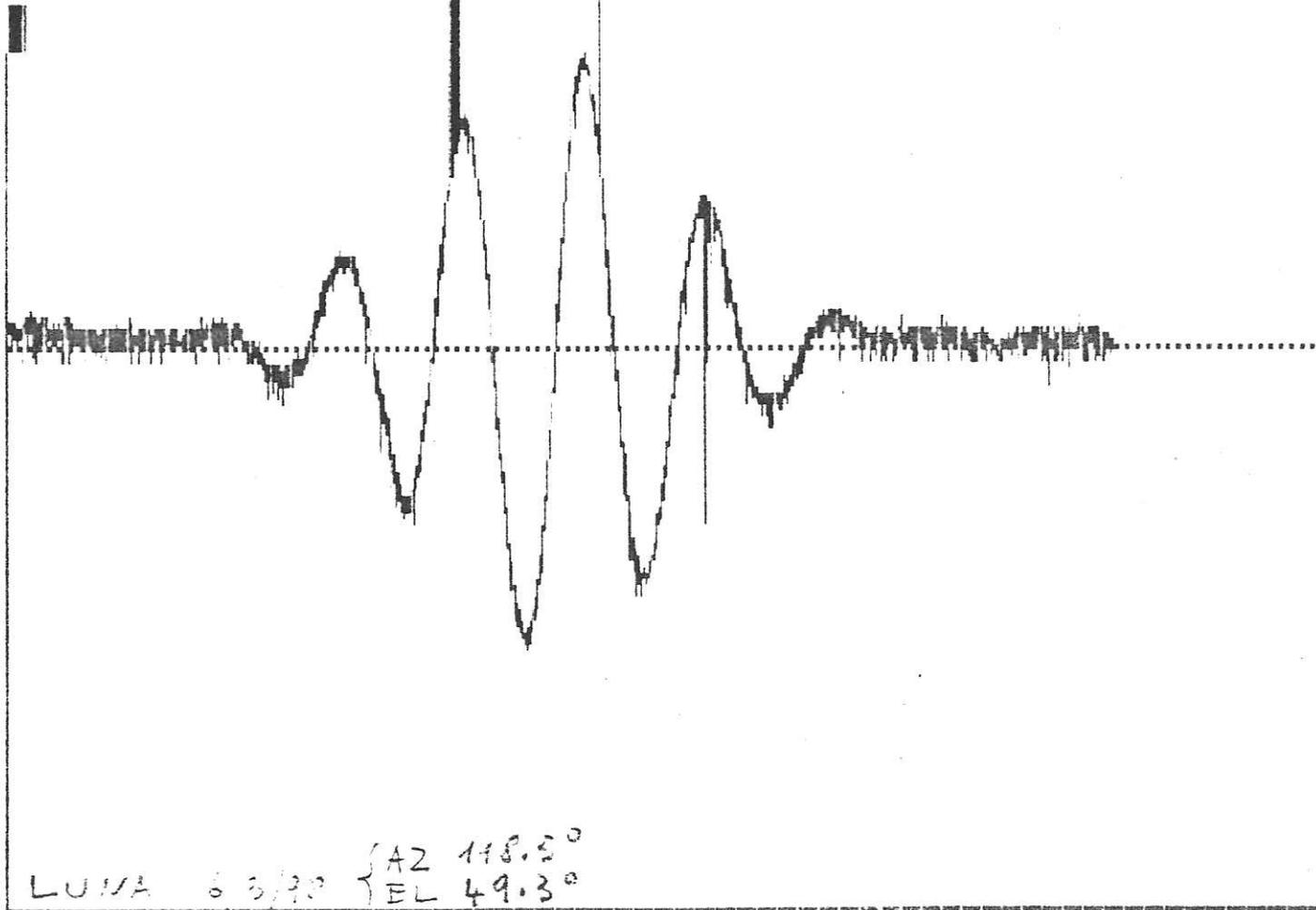
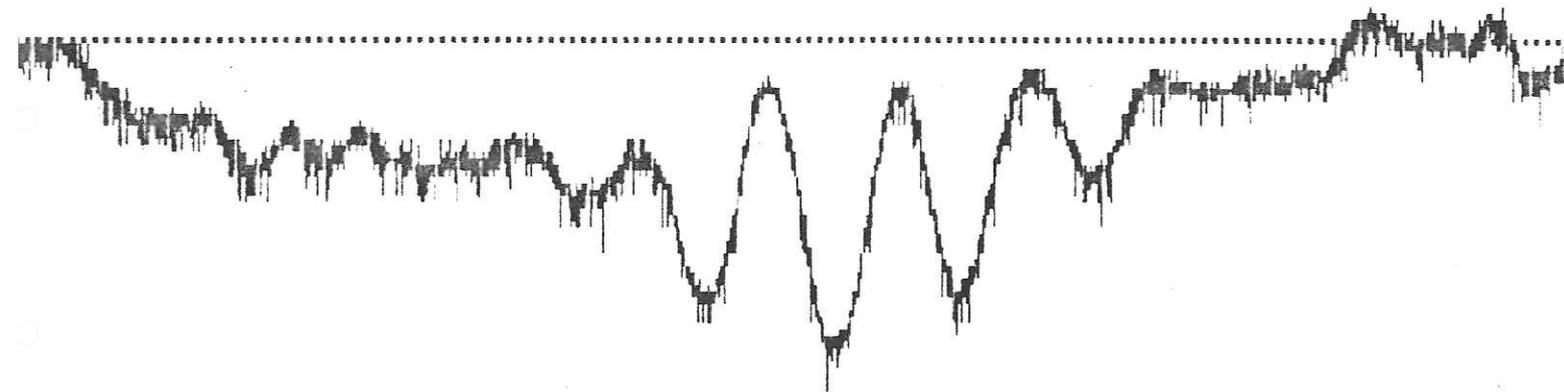


FIG. R17

Un transito quasi perfetto della Luna. La leggera asimmetria e' probabilmente dovuta ad un errore di puntamento.

plificazione (n)? 20  
fset (0-4096)? 0  
ala tempo (cm/min) ? .5

peak in 290



-LUNA 28/02/98 ORE 12

FIG. R18  
Frange al transito della Luna. Il tracciato e'  
deformato per la vicinanza angolare del Sole.

```

10 REM sole.bas
20 CLS
70 CHANNEL=0
90 REM *****
100 DIM Y(10000)
110 CLS
120 SCREEN 2
130 WINDOW (0,0)-(200,4096)
140 REM .....
150 KEY OFF
160 LINE (0,0)-(180,0): REM Orizz. axes
170 LINE (0,1940)-(4096,1940),,,&HCCCC: REM Valor medio
190 LINE (0,0)-(0,3400): REM Vert. axes
240 REM .....
242 INPUT "amplificazione (n)";AMPL
243 INPUT "offset (0-4096)";OFFSET
247 INPUT "scala tempo (cm/min) ";SCALA
249 LINE (0,0)-(180,0): REM Orizz. axes
253 LINE (0,1940)-(4096,1940),,,&HCCCC: REM Valor medio
256 LINE (0,0)-(0,3400): REM Vert. axes
258 GOSUB 350
260 PSET (0,D):LIMIT=199*10/SCALA:IF LIMIT>10000 THEN LIMIT=10000
270 FOR J=1 TO LIMIT
280 GOSUB 350
282 D=(D-OFFSET)*AMPL
283 REM D=D+OFFSET
284 Y(J)=D
290 FOR I=0 TO 26300:NEXT
295 JJ=J*SCALA/10
300 LINE -(JJ,Y(J))
310 NEXT
320 REM GOTO 110
330 END
340 REM *****
350 PORT = 632
360 OUT PORT + 3, 0
370 OUT PORT + 0, CHANNEL
380 FOR I = 1 TO 7: A = INP(PORT + 4): NEXT I
390 FOR I = 1 TO 7: A = INP(PORT + 5): NEXT I
400 B = INP(PORT + 2)
410 C = INP(PORT + 1)
420 D = (B - 16 * (INT(B / 16))) * 256 + C
430 RETURN

```

FIG. L2

Listato del file "SOLE.BAS" per la gestione del display relativo ad esperimenti di laboratorio come la misura a distanza delle temperature.

```

10 REM solesid.bas
20 CLS
70 CHANNEL = 0
90 REM *****
110 CLS
120 SCREEN 12
130 WINDOW (0, 0)-(640, 4096)
140 REM *****
150 KEY OFF
155 LONGi = 11.338888#: REM Longitudine del posto
160 REM *****
160 LINE (0, 10)-(640, 10): REM Orizz. axes
170 LINE (0, 1940)-(4096, 1940): REM Vert. axes
190 LINE (0, 0)-(0, 3400): REM Vert. axes
242 INPUT "gain": AMPL: LOCATE 1, 13
247 INPUT "time scale (cm/min)": SCALA: LOCATE 1, 40
248 INPUT "start UT (HH:MM, <Enter> = now)": TI$: IF TI$ = "" THEN GOTO 260
250 IF LEFT$(TIMES$, 5) = TI$ THEN GOTO 260
255 PRINT TIMES$: LOCATE 2, 1: GOTO 250

260 PSET (0, D): LIMIT = 199 * 10 / SCALA: CUT = 4096 / AMPL: OFFSET = 0
262 DAT$ = DATE$: TIM = TIMER: GOSUB 610
265 IMAX = 560 / SCALA: PRINT USING "\": "UT": : PRINT TIMES$:
266 PRINT USING "\": "Sid": : PRINT sidtime$: : PRINT "": : DATE$

270 FOR J = 1 TO 640
280 GOSUB 350
282 D = (D - OFFSET) * AMPL
302 LINE -(J, D)
310 NEXT J
315 DAT$ = DATE$: TIM = TIMER: GOSUB 610: timm$ = RIGHT$(TIMES$, LEN(TIMES$) - 1)
320 PRINT USING "\": "UT": : PRINT TIMES$: : PRINT USING "\": "Sid"
322 PRINT sidtime$
330 END
340 REM *****
350 PORT = 632: D = 0: COUNT = 0
358 FOR IND = 1 TO IMAX
360 OUT PORT + 3, 0
370 OUT PORT + 0, CHANNEL
380 FOR I = 1 TO 7: A = INP(PORT + 4): NEXT I
390 FOR I = 1 TO 7: A = INP(PORT + 5): NEXT I
400 B = INP(PORT + 2)
410 C = INP(PORT + 1)
415 DP = (B - 16 * (INT(B / 16))) * 256 + C
420 IF DP = 63 THEN GOTO 427
422 IF DP > CUT THEN GOTO 427
426 D = D + DP: COUNT = COUNT + 1
427 NEXT IND
428 IF COUNT > 0 THEN D = D / COUNT
429 IF COUNT = 0 THEN D = CUT
430 RETURN
610 MM = VAL(LEFT$(DAT$, 2))
620 DD = VAL(RIGHT$(LEFT$(DAT$, 5), 2))
630 YY = VAL(RIGHT$(DAT$, 4))
640 Y = YY - 1: M = MM + 12
650 IF MM > 2 THEN Y = YY: M = MM
660 A = INT(Y / 100): B = 2 - A + INT(A / 4)
670 JD = INT(365.25 * Y) + INT(30.6001 * (M + 1)) + DD + 1720994.5# + B
680 T = (JD - 2415020#) / 36525#
690 ZETA = .276919398# + 100.0021359# * T + 1.075E-06 * T * T
700 ZETA = (ZETA - INT(ZETA)) * 360 + LONGi
710 ZETA = ZETA + TIM * 360 * 1.002737908# / 86400!
720 ZETA = ZETA / 15
730 SIDO = INT(ZETA)
740 SIDM = INT((ZETA - SIDO) * 60): SIDS = INT((ZETA - SIDO - SIDM / 60) * 3600)
750 IF SIDO > 24 THEN SIDO = SIDO - 24
760 sidtime$ = STR$(SIDO) + ":" + STR$(SIDM) + ":" + LEFT$(STR$(SIDS), 3)
765 sidtime$ = RIGHT$(sidtime$, LEN(sidtime$) - 2)
770 RETURN

```

FIG. L1

Listato del file "SOLESID.BAS" usato per la gestione del display delle osservazioni in unione con una scheda ADC.

## BIBLIOGRAFIA

- 1) J.D. KRAUS "Radioastronomy" McGraw Hill
- 2) W. LONC "Radioastronomy Projects" Radio-Sky Publishing
- 3) D.F. MILLER "Basics of Radio Astronomy" JPL D-13835
- 4) G. SINIGAGLIA (collab. G. TOMASSETTI) "Elementi di tecnica Radioastronomica" C & C , Faenza
- 5) M. RYLE "A new radio interferometer and its applications to the observation of weak radio stars" Proceedings of the Royal Society A211, 1952
- 6) U. KLEIN, U. MEBOLD, J.M.LENGRUSSEN "Das twin-Radiointerferometer des radioastronomischen praktikums in Bonn". Universitat, Bonn
- 7) G.W.SWENSON "An amateur Radio Telescope" Sky & Telescope, May 1978
- 8) G. SINIGAGLIA, G. TOMASSETTI "Due radiotelescopi da costruire sotto casa" L'Astronomia n.15, Marzo-Aprile 1982
- 9) M. BOSCARDIN et all. "Progetto per un semplice radiotelescopio ad interferometria e misure di emissione radio del Sole" Dipart. di Fisica, Universita' di Trento 1984.

### Possibili fornitori di componenti per amatori

- 1) Pubblicita' su Radio Rivista, Radio Kit, Nuova Elettronica ecc.
- 2) Radio System , Via Erbosa 2 Bologna
- 3) ADB Elettronica, Antraccoli, Lucca
- 4) Kune Electronic, D-95119 NAILA/Holle, Germania
- 5) RF Elettronica di Rota Franco, Senago, Milano
- 6) Down East Microwave, Frenchtown N.J. USA
- 7) Amplificatore microonde da privato: rivolgersi all'Autore.